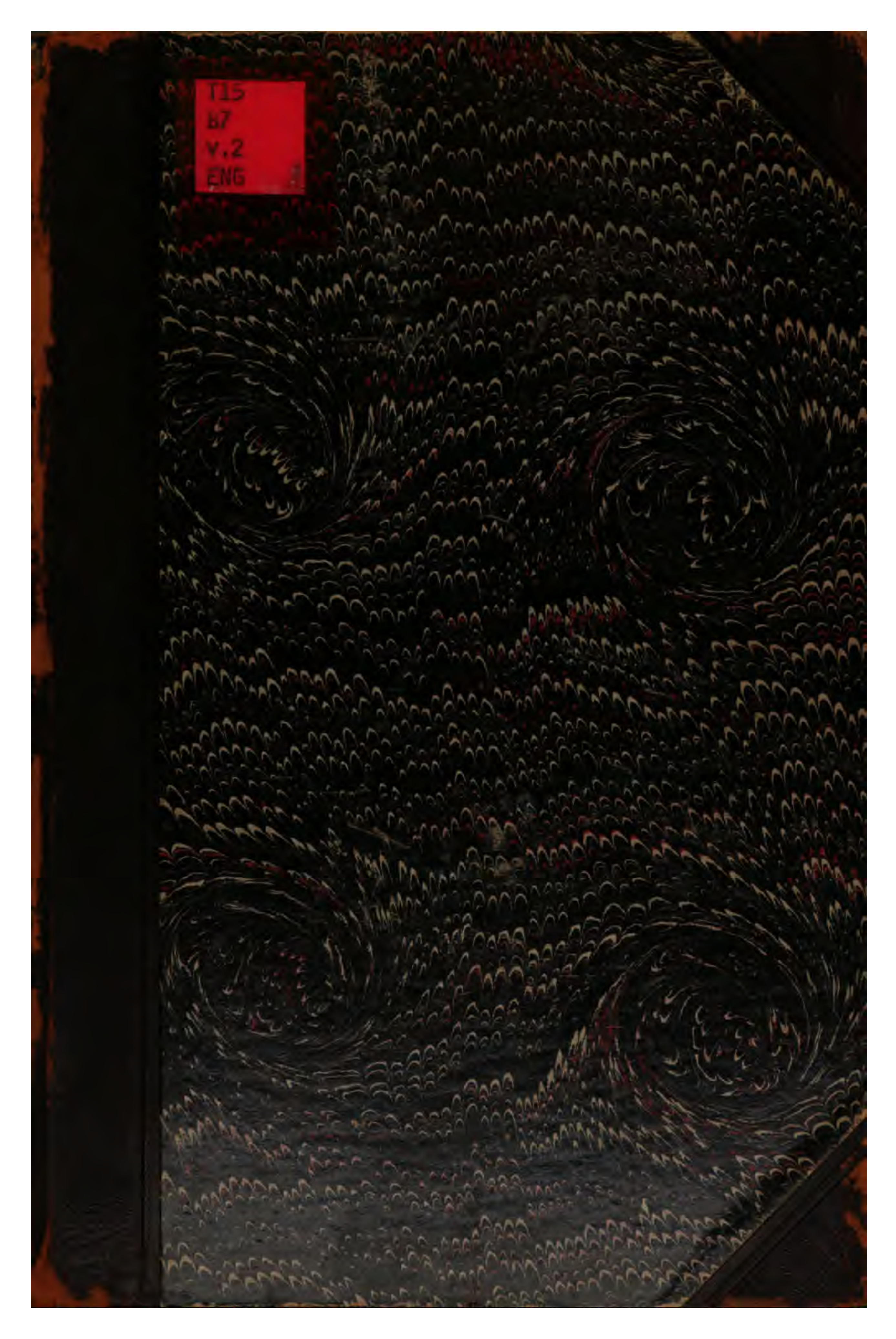
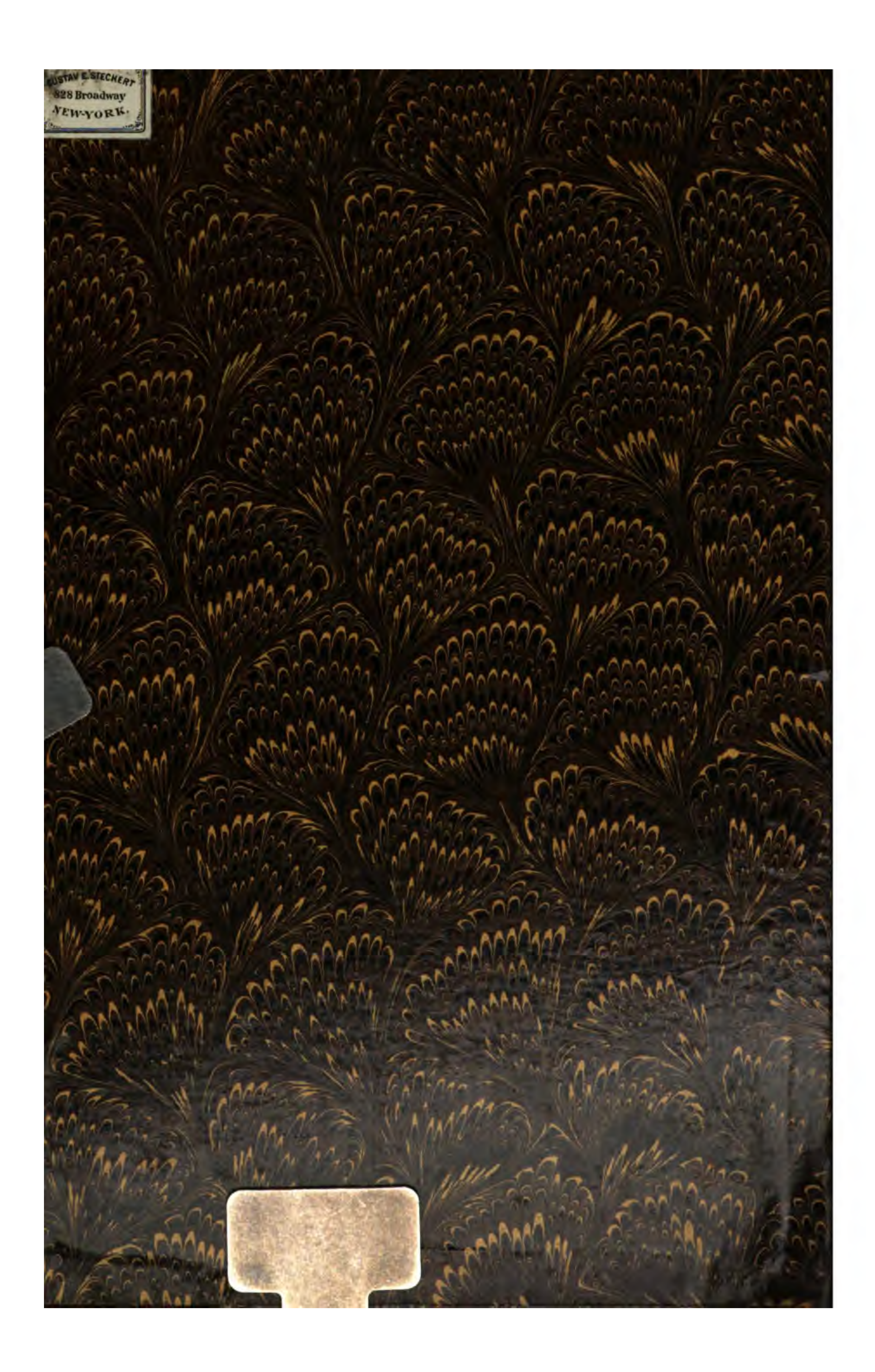
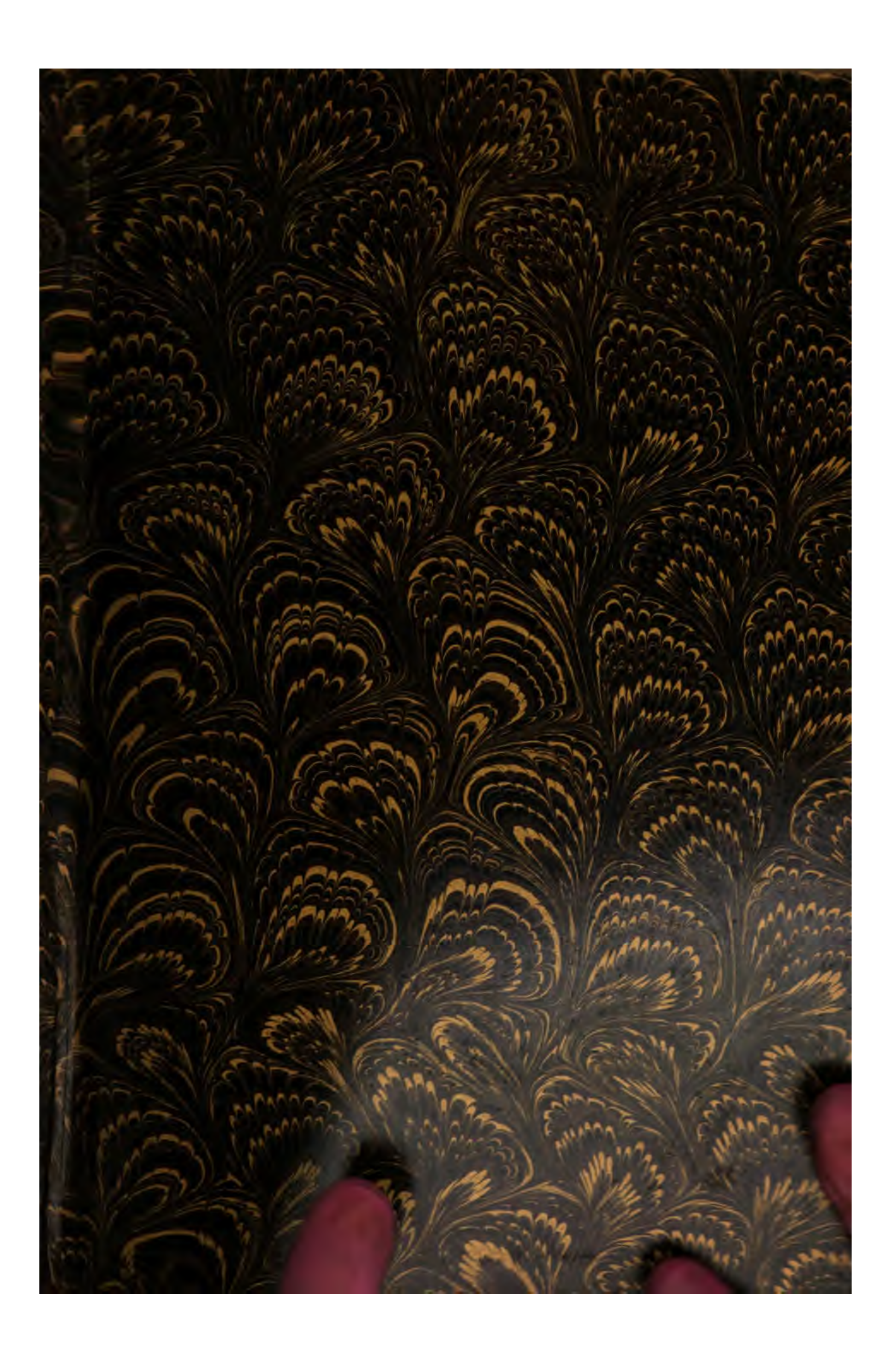



USTAV E. STECHERT
828 Broadway
NEW-YORK.





Das

Buch der Erfindungen, Gewerbe

und

Industrien.

II.

Achte neugestaltete Auflage.

Pracht-Ausgabe.

Das

Buch der Erfindungen, Gewerbe

und

Industrien.

Rundschau auf allen Gebieten der gewerblichen Arbeit.

In Verbindung mit

Professor Dr. C. Birnbaum, Ingenieur Fz. Flemming, Professor G. Gayer, Dr. G. Heppe, Professor Dr. A. Kirchhoff, Carl Lorck, Fr. Luckenbacher, Baurath Dr. O. Mothes, Emil Schallopp, Hermann Schnauß, Ingenieur Th. Schwartze, Redakteur Dr. Franz Stolze, A. Werner, Ulr. Wilcke, Jul. Zöllner u. a.

herausgegeben von

Professor F. Reuleaux.

Zweiter Band.

Die Kräfte der Natur und ihre Benutzung.

Physikalische Technologie.



Achte umgearbeitete und stark vermehrte Auflage.

Mit vielen Ton- und Titelbildern, nebst mehreren Tausend Text-Illustrationen.

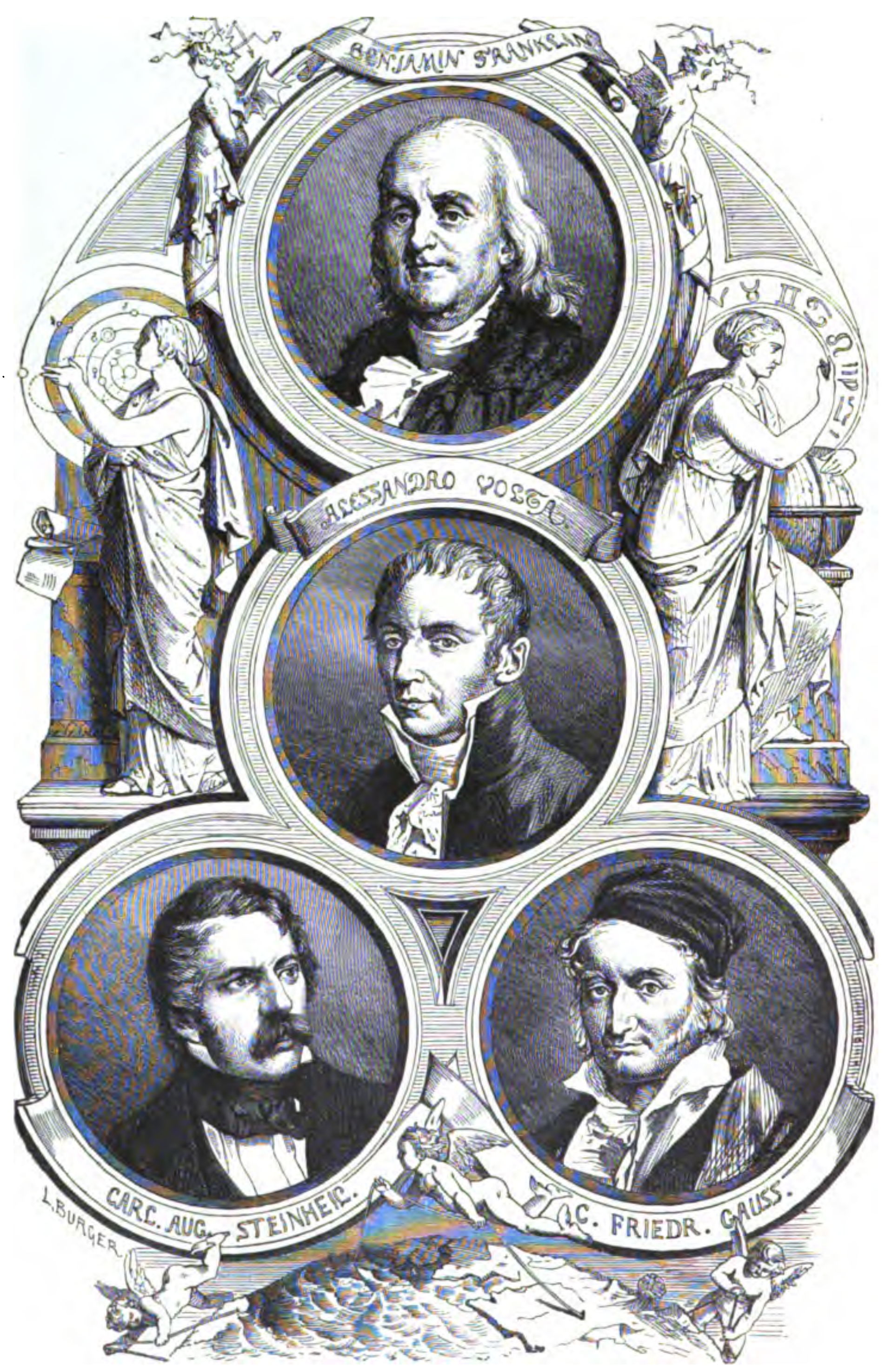
Nach Originalzeichnungen

von L. Burger, O. Mothes, G. Rehlender, Albert Richter u. a.

Leipzig und Berlin.

Verlag und Druck von Otto Spamer.

1885.



Das Buch der Erfind. 8. Aufl. II. Bd. Leipzig: Verlag von Otto Spamer.

Die Kräfte der Natur und ihre Benutzung.

Physikalische Technologie.

Inhalt:

Geschichte der Physik.

Metermaßsystem. Windmühle und Schiffsschraube. Hebel und Flaschenzug.
Wage und Aräometer. Pendel; Zentrifugalmaschine. Barometer; Manometer. Luftschiffahrt.
Luftpumpe; atmosphärische Briefpost. Hydraulische Maschinen, Pumpen und Feuerspritzen.
Das Licht. Spiegel; Spiegelapparate. Prisma; Spektralanalyse. Camera obscura.
Das Auge, Panorama, Chromatrop, Stereoskop. Teleskop. Mikroskop.
Elektrisiermaschine. Der Blitzableiter. Galvanismus, elektrisches Licht und Galvanoplastik.
Die elektromagnetischen Apparate. Der Telegraph. Der Kompaß.
Die Welt der Töne. Sprach- und Hörrohr. Die musikalischen Instrumente.
Das Thermometer. Der Dampf und die Dampfmaschine. Lokomotive und Lokomobile.

Von

Julius Zöllner.

Achte vermehrte und verbesserte Auflage.



Mit sechs Tonbildern, über 600 in den Text gedruckten Illustrationen sowie einem Titelbilde.

Anfangs- und Abteilungsbilder gezeichnet von Ludwig Burger.

Leipzig und Berlin.

Verlag und Druck von Otto Spamer.

1885.

Inhaltsverzeichnis

zu dem

Buch der Erfindungen, Gewerbe und Industrien.

Achte (Pracht-) Ausgabe.

Zweiter Band.

Seite

Einleitung. Die Kräfte der Natur und ihre Benutzung. Wechselwirkung der Naturkräfte. Gesetz von der Erhaltung der Kraft. Wie haben wir uns den Untergang der Welt zu denken? Geschichte der Physik. Ägypter. Hebräer. Etrusker. Griechen. Römer. Araber. Das Abendland. Die allgemeinen Eigenschaften der Körper. Die Teilbarkeit. Porosität. Molekularkräfte. Die Elastizität. Kompressibilität. Kraftwirkung. Parallelogramm der Kräfte. Tischrücken und Wünschelrute 3

Das Metermaßsystem. Alles in der Natur beruht auf Maß und Zahl. Die Maße der Alten. Ägyptische, jüdische, griechische, römische Maße. Wert genauer Maßmethoden. Erweiterter Verkehr verlangt ein internationales Maß. Maßeinheit und Maßsystem. Willkürliche und natürliche Maßsysteme. Geschichte des Metermaßsystems. Die Gradmessungen. Benutzung der daraus gewonnenen Resultate zur Wahl der Einheit. Einteilung und Bezeichnung. Einwände gegen das Metermaßsystem als Weltmaß. Widerlegung derselben. Vergleichung mit andern Maßen. Maß der Kraft 23

Windmühle und Schraubenschiff. Bewegungsapparat der Dampfschiffe. Die schiefe Ebene. Kraftwirkung an derselben. Anwendungen. Der Keil. Die Schraube. Ihr Gesetz und ihre Verwendung. Der Flieger. Die Schiffsschraube und ihre Geschichte. Du Quet. Bernoulli. Paucton. Delisle. Sauvage. Joseph Ressel. Ausführung der Schiffsschraube. Der Windmühlenflügel. Wirkung des Windes auf denselben. Geschichte der Windmühlen. 39

Hebel und Flaschenzug. Kraftwirkungen bei Errichtung alter Bauwerke. Der Hebel. Einarmiger, zweiarmiger Hebel. Anwendung und Wirkungsweise. Geschichte. Hebelade. Haspel. Rad an der Welle. Zahnräder und Getriebe. Schraube ohne Ende. Die Reibung. Rolle und Flaschenzug. Feste Rolle. Bewegliche Rolle. Flasche. Das Perpetuum mobile. 53

Wagen und Aräometer. Bedeutung der Maßbestimmungen. Anziehung der Körper. Die Schwere und ihr Gesetz. Isaak Newton. Abweichung des Bleilots. Wirkung der Schwere auf andre Weltkörper. Gewicht. Schwerpunkt. Unterstützung desselben. Wagen und ihre Geschichte. Ausführung der Wagen. Schnellwage. Briefwage. Brückenwage und ihre Einrichtung. Die chemische Wage. — Das spezifische Gewicht und seine Bestimmung bei festen und flüssigen Körpern. Vom Schwimmen. Aräometer, verschiedene Arten und verschiedene Systeme der Einteilung 65

Pendel und Zentrifugalkraft. Galileo Galilei. Entdeckungen der Pendelgesetze, Fallgesetze. Gleichmäßig verzögerte und beschleunigte Bewegung. Anwendung des Pendels. Pendeluhr. Sekundenpendel. Das zusammengesetzte Pendel. Mälzels Metronom. Reversionspendel. Foucaults Versuch. Verschiedenheit des Sekundenpendels auf der Erde. Abplattung. Die Zentrifugalkraft. Plateaus Versuch über die Saturnbildung. Der Zentrifugalregulator. Die Zentrifugal-Trockenmaschine 83

Barometer und Manometer. Beobachtung der Florentiner Brunnenmacher. Horror vacui. Torricellis Versuch. Der Luftdruck und seine Gesetze. Die Atmosphäre. Höhenmessungen am Puy de Dôme. Barometer. Gefäß- und Heberbarometer. Aneroidbarometer. Manometer. Mariottesches Gesetz. Barometrische Beobachtungen 96

Seite

Der Luftballon und die Luftschiffahrt. Flugversuche. Der Luftballon. Brüder Montgolfier. 1783 steigt ihr erster Luftballon. Charles' Ballon auf dem Marsfelde. Konkurrenz der Montgolfièren und der Charlièren. Die erste Luftreise von Pilâtre de Rozier und Marquis d'Arlande, Charles und Robert. Blanchards Reise über den Kanal. Der Fallschirm. Greens Reise von England bis ins Nassauische. Die interessantesten Unternehmungen späterer Luftschiffer. Arban. Coxwell. Gypson. Nadar und der Géant. Nutzen und Aussichten der Luftschiffahrt. Gay-Lussac und Birks Expedition. Steuerungsversuche 111

Die Luftpumpe und die atmosphärische Briefpost. Otto von Guericke. Die Luftpumpe und ihre Einrichtung. Die Magdeburger Halbkugeln auf dem Reichstage zu Regensburg. Der Sperrhahn. Zweistiefelige Luftpumpe. Der schädliche Raum. Unter dem Rezipienten. Die Kompressionspumpe und die Windbüchse. — Die atmosphärische Eisenbahn. Geschichte und Einrichtung. Pneumatische Brief- und Paketbeförderung in Paris und London. 151

Hydraulische Maschinen, Pumpen und Feuerspritzen. Hydrostatischer Druck. Horizont. Die Wasserwage und das Nivellieren. Gesetz der kommunizierenden Röhren. Springbrunnen. Wassersäulenmaschine. Heber. Stech- und Saugheber. Wasserräder. Segnersches Wasserrad. Turbinen. Wasserhebungsmaschinen. Schöpfräder. Paternosterwerke. Wasserschnecke. Die Pumpe. Ventile. Saug-, Druck- und gemischte Pumpe. Zentrifugalpumpe. Kapselpumpe. Der hydraulische Widder. Berliner Wasserwerke. Die Austrocknung des Haarlemer Meeres und die dabei angewandten Maschinen. Projektierte Austrocknung des Zuidersees. Feuerspritzen. Der Windkessel. Spritzflasche und Heronsbrunnen. Innere Einrichtung der Spritze. Repsoldsche Spritze. Dampfspritze. Die hydraulische Presse 169

Das Licht.

Ansichten der Alten über dasselbe. Kepler. Cartesius. Huyghens. Newton. Die Undulations- und die Emanationstheorie. Das Licht besteht aus Schwingungen. Fortpflanzung. Messung der Geschwindigkeit durch die Verfinsterung der Jupitersmonde von Cassini und Römer. Aberration. Bradley. Fizeaus Methode. Abnahme der Intensität mit der Entfernung. Rumfordsches Photometer. Polarisiertes und gemeines Licht. Praktische Anwendung der Polarisation in der Technik. Mikrogeologie 195

Spiegel und Spiegelapparate. Alles spiegelt sich. Der Spiegel ein Kulturmittel. Antike Spiegel. Gesetze der Reflexion. Das Spiegelbild. Es ist symmetrisch. Gespenstererscheinung auf der Bühne. Winkelspiegel. Das patentierte Debuskop. Kaleidoskop. Der Spiegelsextant. Reflexionsgoniometer. Heliostat und Heliotrop. Spiegelung gekrümmter Flächen. Konkav- und Konvexspiegel. Brennpunkt und Brennweite. Reelle und virtuelle Bilder. 205

Das Prisma und die Spektralanalyse. Mythisches. Brechung des Lichtes. Im Wasser und in der Luft. Fata morgana. Das Prisma. Totale Reflexion. Die Camera lucida. Das Sonnenspektrum. Zerlegung des weißen Lichtes in farbige Strahlen. Ton und Farbe. Newtons Farbenlehre und Goethe. Fluoreszenz. Fraunhofersche Linien. Verschiedenheit der Spektra von verschiedenen Lichtquellen. Kontinuierliche Spektra und Spektra der Gase und Dämpfe. Geschichte der Spektralanalyse. Kirchhoff und Bunsen. Spektralapparate. Neu entdeckte Metalle. Anwendung der Spektralanalyse auf die Natur der Himmelskörper. Aus was besteht die Sonne? Protuberanzen 215

Die Camera obscura. Die Welt im dunklen Zimmer. Von den Linsen. Ihre Arten und ihr Prinzip. Die Linsen- und Prismenapparate der Leuchttürme. Sphärische Abweichung. Sammellinsen. Brennpunkt. Brennweite. Linsenbilder, reelle und virtuelle. Achromatische Linsen und ihre Erfindung. Schleifen der Linsen. Das Münchener optische Institut. Die Camera obscura. Sonnenbildchen bei der Sonnenfinsternis. Laterna magica und Nebelbilder 235

Das Auge. Panorama, Chromatrop und Stereoskop. Das Auge ein optisches Instrument. Seine Einrichtung und Fähigkeit. Sehen mit einem Auge. Das Netzhautbild. Sehwinkel. Scheinbare Größe des Mondes. Perspektive. Hilfsmittel für das perspektivische Zeichnen. Panoramen und Dioramen. Geschwindigkeit der Lichtempfindung. Das Chromatrop. Subjektive Gesichtserscheinungen. Farbenharmonie. Sehen mit zwei Augen. Das Stereoskop und seine Geschichte. Wheatstone. Brewster. Spiegel- und Prismenstereoskop. Das Telestereoskop von Helmholtz 251

Die Erfindung des Teleskops. Geschichtliches über die Erfindung. Weder Jansen, noch Metius, noch Crepi, sondern Lippershey. Galilei. Die Einrichtung des Fernrohrs. Das holländische und das astronomische Fernrohr. Kepler. Campanisches Okular. Erdfernrohre. Äußere Einrichtung und Aufstellung. Weitere Vervollkommnung durch Euler, Dollond, Fraunhofer. Der Fraunhofersche Refraktor auf der Dorparter Sternwarte. Das Passageninstrument. Sonstige Verwendung zu Meßinstrumenten. Nonius und Mikrometer. — Spiegelteleskope. Geschichte. Rieseninstrumente. Verschiedene Einrichtungen nach Newton, Gregory und Herschel. Was sieht man durchs Fernrohr? 269

Seite

Das Mikroskop. Eine neue Welt. Das einfache Mikroskop. Brillen und Vergrößerungsgläser. Leeuwenhoek. Das Sonnenmikroskop, erfunden von Lieberkühn. Das zusammengesetzte Mikroskop und seine Einrichtung. Chevaliers Mikroskop und das Mikroskop für mehrere Beobachter. Geschichtliches über die Erfindung und ihre Vervollkommnung. Zacharias Jansen und Galilei. Gebrauch des Mikroskops. Was man damit sieht 289

Elektrizität und Magnetismus.

Die Erfindung der Elektrisiermaschine. Kenntnis von der Elektrizität im Altertum. Bernstein. Reibungselektrizität. Otto von Guericke. Anziehende und abstoßende Kraft der Elektrizität. Positiv und negativ. Ausgleichung. Leiter und Nichtleiter. Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Die Holtzsche Elektrisiermaschine. Die Elektrisiermaschine. Scheiben- und Cylindermaschine. Dampfelektrisiermaschine. Elektroskop und Elektrometer. Elektrizitätserregung durch Verteilung. Gebundene Elektrizität. Die Franklinsche Tafel. Leidener Flasche und Batterie. Elektrische Versuche 307

Die Erfindung des Blitzableiters. Das Gewitter. Wie dachten die Alten darüber? Versuche Neuerer zu seiner Erklärung. Theorie des Gewitters. Donner und Donnerkeile. Wirkungen des Blitzes. Blitzröhren. Schmelzungen, Entzündungen, Tötungen. Der Blitzableiter. Seine Wirkung. Vermögen der Spitzen. Geschichte. Einrichtung des Blitzableiters. Ob Spitze, ob Kugel? Auffangestange, Leitung und Versenkung 321

Galvanismus, elektrisches Licht und Galvanoplastik. Galvani und die Frösche. Elektrizitätserregung durch Berührung. Der galvanische Strom. Volta. Element und Säule. Verschiedene Formen derselben. Zambonische Säule. Der Trog- und der Becherapparat. Die konstanten Batterien. Akkumulatoren oder Sekundärbatterien. Bunsensche Kette. Wirkungen des galvanischen Stromes. Widerstand. Wärmeeffekte und ihre Anwendung. Das elektrische Licht. Bogenlicht und Glühlicht. Regulatoren. Duboscqlampe. Jablochkoffsche Kerzen. Soleillampe von Clarc. Stromverzweigung. Differentialregulator von Siemens. Die Glühlichter von Edison, Swan u. s. w. Chemische Wirkungen. Elektrolyse. Wasserzersetzung durch Humphrey Davy entdeckt. Die Galvanoplastik und die galvanische Veredelung. Verkupfern. Verstählen. Vernickeln. Versilbern und Vergolden 333

Die elektromagnetischen Apparate. Oersteds Entdeckung. Ablenkung der Magnetnadel. Ampère und das Ampèresche Gesetz. Schweigers Multiplikator. Du Bois Reymond. Parallele Ströme ziehen sich an. Elektromagnetismus und Magnetoelektrizität. Faraday. Induktionsapparate. Ältere Rotationsapparate. Physiologische Wirkungen. Große Rotationsapparate zum Walfischfang und behufs der Erzeugung des elektrischen Lichts. Magnetische Kraftlinien. Siemens' Cylinderinduktor. Die Pacinottische Ringmaschine. Maschinen von Gramme, v. Hefner-Alteneck. Siemens' elektrodynamisches Prinzip. Dynamoelektrische Maschinen. Der Elektromagnetismus als Betriebskraft 360

Die Erfindung des Telegraphen. Die Telegraphie der Alten. Ruferlinien. Optische Telegraphen. Fackeln- und Flaggensignale. Chappes Telegraph. Geschichte und Einrichtung. Akustische und hydraulische Telegraphie. Die elektrische Telegraphie. Winkler. C. M. Lemond und Boeckmann. Sömmerings galvanischer Telegraph. Schilling von Kannstatt. Gauß und Weber. Das Verdienst Cookes. Wheatstone. Der Nadel- und Doppelnadeltelegraph. Steinheils Schreibtelegraph. Davy erfindet und Wheatstone verbessert den Zeigertelegraphen. Steinheils Entdeckung der Erdleitung. Die chemischen Telegraphen. Morse-System. In einem Telegraphenbüreau. Automatische Telegraphie. Der Cowpersche Schreibtelegraph. Das Gegensprechen. Die Leitung. Unterseeische und unterirdische Kabel. Legung des atlantischen Kabels. Elektrische Uhren 381

Der Kompaß. Die Alten kannten natürliche Magnete. Vorkommen derselben. Tragkraft und Richtkraft. Die Pole. Künstliche Magnete und ihre Herstellung. Die Erfindung des Kompasses. Einrichtung desselben. Erdmagnetismus. Deklination, Inklination und Intensität. Variationen des Erdmagnetismus und ihre Bestimmung. Magnetische Stationen. Das Nordlicht ein magnetisches Ungewitter 419

Die Welt der Töne.

Schallwellen. Ihre Fortpflanzung und Geschwindigkeit. Reflexion. Echo. Sprach- und Hörrohr. Ton und Farbe. Tiefste und höchste Töne. Schwingende Saiten. Interferenz. Das Monochord. Intervalle und Tonleiter. Dur und Moll. Helmholtz. Schwingungsknoten an Saiten und Platten. Chladnische Klangfiguren. Obertöne. Klangfarbe der Instrumente. A. E. J. O. U. Kombinationstöne. Tartini und Sorge. Die Pfeifen. Offene und gedackte Pfeifen. Das Telephon. Ältester Apparat von Reis. Neuere Konstruktionen von Bell, Siemens u. a. Die Kohlentelephone oder Mikrophone. Der Phonograph. Das Photophon 429

Seite

Die musikalischen Instrumente. Rhythmische Instrumente. Kastagnetten. Tamburin, Trommel etc. Pauken. Glocken und Glockenspieler. Melodische Instrumente. Die Harfe und ihre Erfindung. Ägyptische Harfen. Die Davidsharfe. Die Pedalharfe. Die Äolsharfe. Die Lauten, Guitarre und Zither. Das Klavier und klavierähnliche Instrumente. Geschichtliches. Hackebrett. Spinett. Klavizimbel. Christofalis Erfindung des Pianofortes. Schröter und Silbermann. Weitere Ausbildung durch Stein, Streicher etc. Bau des Pianofortes, der Körper, die Mechanik. Saitenbezug. Hämmer und Dämpfung. Klangfarbe. — Die Geige und die geigenähnlichen Instrumente. Ihre Geschichte. Theorie der Geige, Bratsche, Violoncello und Baß. Blüte des Geigenbaues in Italien. Kommt durch Stainer nach Deutschland. Mittenwald. — Die Blasinstrumente. Trompeten und trompetenartige Instrumente. Ihre Einrichtung und Theorie. Horn und Posaune. Anwendung der Klappen und Ventile. Sax und Cerveny. Flöte. Klarinette. Fagott. Böhms System. — Die Orgel. Geschichte. Einrichtung derselben. Register. Stimmenzusammensetzung. Schleiflade. Kegellade. Hahnenlade. Interessante Orgelwerke 449

Die Wärme.

Das Thermometer. Wärme und Kälte. Wärmemessung. Drebbels Thermometer. Theorie des Thermometers. Was die Wärme sei? Ihre Wirkungen. Wärmekapazität. Ausdehnung. Änderung des Aggregatzustandes. Latente Wärme. Meteorologie und Meteorograph. Anfertigung des Thermometers. Réaumur, Fahrenheit und Celsius. Maximum- und Minimumthermometer. Metallthermometer. Die Wärme im Haushalte der Natur . . 509

Die Erfindung der Dampfmaschine. Die Wärme als Kraftquelle. Feuchtigkeitsgehalt der Luft. Prinzip der Dampfmaschine. Geschichte der Erfindung. Ihr wahres Alter. Das Schiff Blasco de Garays. Salomon de Caus. Der Marquis von Worcester. Papin und der Papinsche Topf. Saverys Dampfmaschine. Newcomen. James Watt und seine doppeltwirkende Maschine. Das Parallelogramm. Die Hochdruckmaschine. Maschine mit Expansion. Einzelne Teile der Dampfmaschine. Steuerung. Schieber. Exzentrik. Maschine mit oszillierendem Cylinder. Der Dampfkessel. Schwimmer und Sicherheitsventil. Konkurrenten der Dampfmaschine. Geschichte und Einrichtung von der Gas- und Heißluftmaschine. Petroleummaschine 523

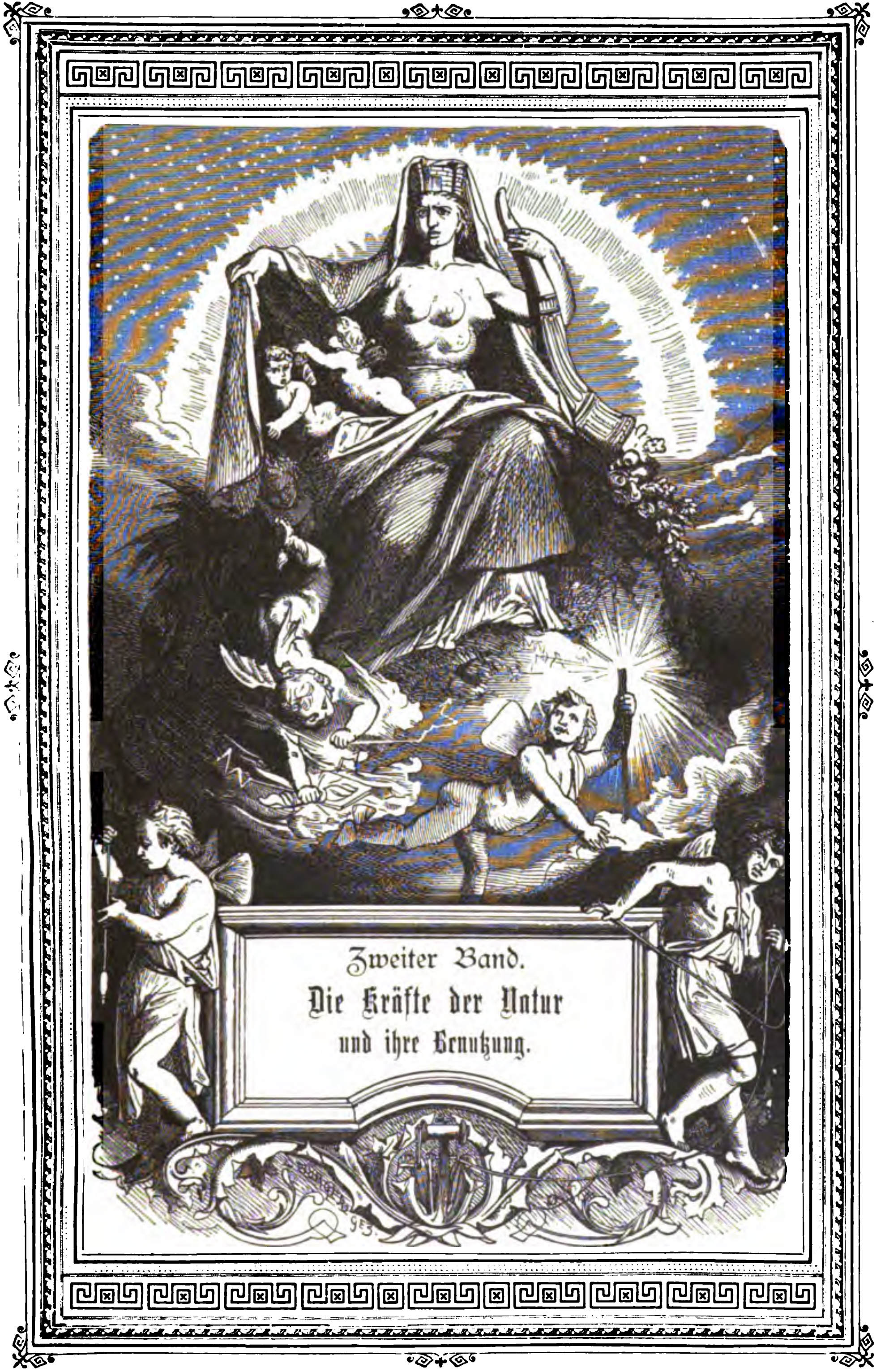
Lokomotive und Lokomobile. Geschichte des Dampfwagens. Die Lokomotive Cugnots. Oliver Evans' Dampfwagen. Threvithick und Vivians Versuche. Blenkinsop, Brunton u. s. w. Georg Stephenson und seine Lokomotiven auf der Stockton-Darlington- und der Liverpool-Manchester-Bahn. Der Sieg der „Rakete“. Spätere Vervollkommnungen. Engerth. Crampton. Fell u. s. w. Die maschinistische Einrichtung der Lokomotive. Die Lokomobile 564

Tonbilder,

welche an den nachstehend bezeichneten Stellen in den Text einzuheften sind.

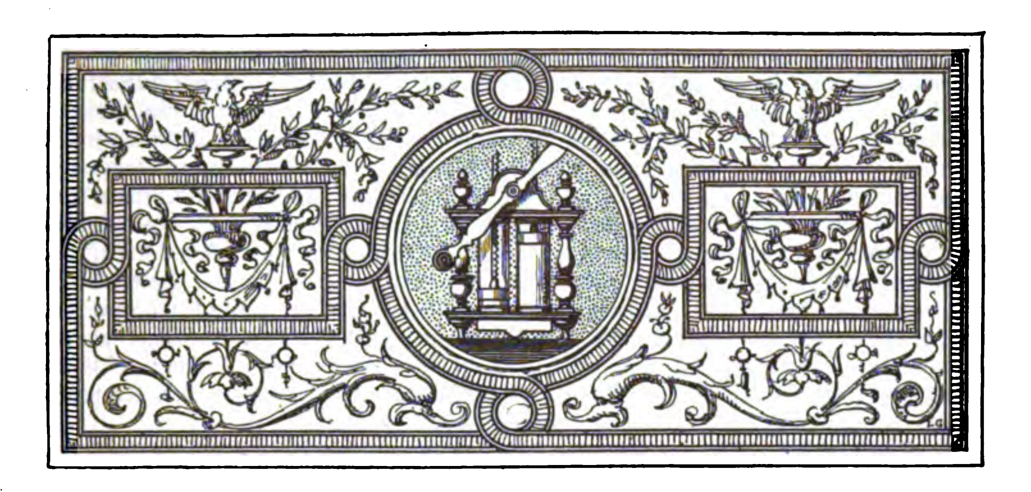
Seite

Porträtgruppe . . . . Titelbild
Luftballon in einem Wolkengewölbe 130
Zusammenstellung des Sonnenspektrums mit den Spektren der Flammen von Kalium, Rubidium, Cäsium, Baryum, Natrium, Thallium und Lithium 230
Die Sternwarte zu Nizza 269
Elektrische Beleuchtung 333
Vorführung neuer Erfindungen im Maschinensaale des Kunst- und Gewerbemuseums zu Paris . . . 523
Stephenson und seine erste Lokomotive 568


Zweiter Band.
Die Kräfte der Natur
und ihre Benutzung.

— — Im stillen Gemach entwirft bedeutende Zirkel
Sinnend der Weise, beschleicht forschend den schaffenden Geist,
Prüft der Stoffe Gewalt, der Magnete Hassen und Lieben,
Folgt durch die Lüfte dem Klang, folgt durch den Äther dem Strahl,
Sucht das vertraute Gesetz in des Zufalls grausenden Wundern,
Sucht den ruhenden Pol in der Erscheinungen Flucht.

Schiller.



Einleitung.



Betrachten wir eine Dampfmaschine, wie sie die Schnellpressen der Druckereien oder die Stühle in den mechanischen Webereien oder die Dreh- und Hobelbänke einer Maschinenbau-Werkstätte in Bewegung setzt, oder wie wir sie zu beobachten Gelegenheit haben, wenn uns der blaue Sommerhimmel in die Ferne gelockt hat und das schnelle Dampfschiff mit uns die Fluten eines jener zauberischen Schweizer Seen durchschneidet: dann werden wir, wenn uns die innere Einrichtung des scheinbar so komplizierten Mechanismus bekannt geworden ist, billig erstaunen über die ungemeine Einfachheit der Grundideen, nach denen das bewunderungswürdige Werk entstanden ist. Wir sehen einen Kessel, in welchem Wasser durch untergelegtes Feuer in fortwährendem Kochen erhalten wird. Die daraus sich entwickelnden Dämpfe treten in einen Cylinder, einmal unterhalb, dann wieder oberhalb eines Kolbens, der dadurch abwechselnd auf- und abwärts getrieben wird. In ähnlicher Weise, wie bei den gewöhnlichen Spinnrädern, wird die geradlinig vor- und rückwärts gehende Bewegung der Kolbenstange in eine drehende verwandelt und durch Zahnräder und Getriebe in der mannigfachsten Weise für den Gang der anhängenden Maschinen verwendet, Webstühle oder Dampfhämmer und Druckapparate unterscheiden sich dabei in nichts von dem Schaufelrad oder der Schraube eines Schiffes. Wir finden an den einzelnen Teilen, an den Gliedern dieses Maschinenorganismus, durchaus nichts Besonderes — keine neue Kraft, kein rätselhaftes Uhrwerk. Zahnräder, Hebel und Schrauben, in scharfsinniger Zusammenstellung, durch eine Kraft in Bewegung gesetzt, bringen jene wunderbaren Leistungen hervor, die in solcher Genauigkeit und Gleichmäßigkeit die menschliche Hand, welche doch erst die Maschine herstellte, nicht zu erzeugen im stande ist. Und alle diese Teile arbeiten immer nur in derselben Art und alle nach denselben einfachen Gesetzen, welche uns bei dem gewöhnlichen Nußknacker, bei Messer und Schere schon als Gesetze des Hebels und der schiefen Ebene entgegentreten. Das große Schwungrad, dazu bestimmt, den Gang der Maschine zu regeln, nimmt die einzelnen Kraftüberschüsse auf, wenn der Kolben zu rasch geht, und gibt sie wieder ab, wenn er langsamer werden will. Jeder Anfänger in der Mechanik sieht darin die bei jedem Steinwurfe, bei jedem Hammerschlage zu beobachtenden Vorgänge der Trägheit und der sogenannten lebendigen Kraft. Und jene beiden Kugeln, eigentlich die geistreichste Idee der ganzen Dampfmaschine, die bald rascher, bald langsamer sich drehen und an ihrer Führung demgemäß sich auf und ab bewegen, sie hängen mit der Kolbenstange zusammen, und

die Geschwindigkeit ihrer Drehung ist abhängig von der Geschwindigkeit, mit welcher diese ihren Gang im Dampfcylinder macht. Es ist der Regulator, dessen Spiel die Zentrifugalkraft bedingt, und die wir ebensowohl im Laufe und in der Umdrehung der Gestirne wiederfinden als in dem Wurfe, mit welchem der Knabe den Kiesel aus seiner Schleuder sendet.

Nehmen wir eine Säemaschine oder ein Göpelwerk, eine Uhr oder ein Münzprägewerk vor und zerlegen es, so stoßen wir wieder auf dieselben Gesetze und dieselben Vorgänge, mit dem Unterschiede höchstens, daß bei dem einen die Muskelkraft des Menschen oder eines Zugtieres, bei dem andern die Elastizität einer gespannten Feder anstatt der Elastizität des Dampfes die Kraftquelle bildet, und daß, wenn die Uhr eine Pendeluhr ist, uns jene regelmäßigen Schwingungen eines aufgehangenen schweren Körpers entgegentreten, welche jahrtausendelang fortwährend und überall von den Menschen beobachtet worden waren, deren Gesetzmäßigkeit aber erst Galilei erkannte, als er, mehr Forscher als Gläubiger, in der Kirche die hin und her gehenden Bewegungen der von dem Gewölbe herabhängenden Kronleuchter mit seinen Gedanken verfolgte.

Das Mikroskop läßt uns eine neue Welt bewundern, die sich plötzlich vor uns entzaubert. Der kleinste Splitter eines Feuersteines, ein Pülverchen abgeriebener Kreide, ein Stückchen Kieselguhr zeigt uns Tausende und aber Tausende der zierlichsten Kalk- und Kieselpanzer und Skelette, welche Millionen Jahre vordem lebenden und lustig sich bewegenden Geschöpfen angehörten, bis der Tod sie erraffte, Fäulnis und Verwesung die organischen Teile zerstörten, die kleinen Knochengerippe sich aber aufeinander häuften und zu allmählich erhärteten Steinmassen verkitteten. Die einfachen Eigenschaften des Lichtstrahles, von seiner Richtung abzuweichen, wenn er seinen Weg durch durchsichtige Körper, wie Glas, Wasser, Bergkristall oder dergleichen, nehmen muß, die sogenannte Brechbarkeit, vertausendfacht in den Gläsern des Mikroskops die Schärfe unsres Gesichtssinnes. Sie malt den leuchtenden Regenbogen auf die dunkle Wolkenwand, sie gibt dem Diamant sein prächtiges Farbenspiel, wie sie uns im Tautropfen, der am feuchten Halme hängt, entzückt. Ohne sie wäre die Photographie in ihrer heutigen Gestalt nicht denkbar, die Astronomie würde sich wenig nur über die Stufe, welche sie bei den alten Ägyptern einnahm, erhoben oder sich höchstens in Hypothesen und Spekulationen ausgebreitet haben, die ihren Beweis kaum hätten vorbringen können. Denn im Fernrohr wie im Mikroskop ist auch wieder die Brechbarkeit des Lichtes und die auf ihr beruhende Konstruktion linsenförmiger Gläser die Seele, um die sich alles dreht. Selbst unser Auge enthält jenen einfachen Apparat einer vergrößernden Linse und stellt sich damit in die bedeutende Reihe der optischen Instrumente, deren Grundprinzip in einer so einfachen Eigenschaft des Lichtstrahles besteht.

So könnten wir in ähnlicher Weise uns durch den elektromagnetischen Telegraphen belehren lassen, daß ein einziges Gesetz alle Erscheinungen umfaßt, die wir als elektrische oder als magnetische bezeichnen, den Blitz sowohl, der verderbenbringend aus der Wolke zuckt, wie die beständige Richtung der Magnetnadel, welche den Schiffer auf hohem Meere den Kiel lenken läßt; die den in höheren Breitengraden Reisenden wunderbar ergreifende Pracht des Nordlichts, wie die merkwürdigen Scheidungen in den Werkstätten der Galvanoplastik, welche auf stille, rastlose Weise ganze Heere von Bildhauern, Erzgießern, Kupferstechern, Holzschneidern, Vergoldern ersetzen.

Und während du am Klavier ein Lied begleitest — durch das Anschlagen der Hämmer an die Saiten und den Klang deiner Stimme erschöpfst du alle jene Erscheinungen und Gesetze, welche dem unendlich wechselvollen Reiche der Töne zu Grunde liegen.

Die ganze Welt, wie sie unsern Sinnen gegenübertritt, ist nicht anders als wie ein Schachspiel: ein gesetz- und regelmäßig eingeteiltes Feld, auf welchem nur wenige voneinander verschiedene Figuren sich bewegen, deren jede in ihrem eignen, fest bestimmten Laufe eine, was wir so nennen, eigentümliche Kraft darstellt; und doch gibt es der Möglichkeiten unendlich viele, wie diese Kräfte gegeneinander und miteinander in Wirkung treten und die Massen ordnen und stellen, so daß doch jedesmal eine besondere und immerhin dem Verständigen bedeutende Idee dadurch Ausdruck findet.

Es wird auch dem oberflächlich Blickenden schon einleuchten, und durch die im Vorigen gegebenen Beispiele findet es Bestätigung, daß eine genaue Erforschung dieser Grundzüge

der Schöpfung von dem fruchtbarsten Einfluß auf alle menschliche Thätigkeit sein muß, nicht nur insoweit diese die äußere Natur zu den besonderen Zwecken des Nutzens und des Bedarfes heranzieht, sondern auch insofern dieselbe die Vorgänge des inneren Menschen zum Gegenstande ihrer Pflege macht. Dieser offenbare Nutzen ist also eine Frucht der Naturforschung und der Naturwissenschaften, wie wir die Gesamtheit der bereits erlangten Resultate und die Methoden, dieselben zu vermehren, zu läutern und in gegenseitigen organischen Zusammenhang zu bringen, im großen Ganzen nennen.

Wie die Natur ein schöner, unteilbarer Organismus ist, so müßten eigentlich auch die Naturwissenschaften ein ungetrenntes Ganze ausmachen. Bei dem unermeßlichen Reichtum aber und der unfaßbaren Fülle der Natur ergibt sich, daß selbst der schärfste Verstand und der beharrlichste Fleiß den einzelnen Menschen nicht in den Stand setzen, mit allen diesen Gegenständen genauer bekannt zu werden. Es haben sich demgemäß im Laufe der Zeiten auf dem großen Gebiete einzelne Provinzen gesondert, welche, soviel als möglich begrenzt, eine selbständige Bearbeitung finden.

Namentlich gilt dies von den beiden großen Disziplinen, die man früher mit den Namen der Naturlehre, welche philosophisch auf das Innere, das Gesetzmäßige der Erscheinungen eingeht, und der Naturgeschichte bezeichnete, welche letztere historisch die äußeren Thatsachen sammelt und zur leichteren Übersicht ordnet. Die neuere Forschung ist im Begriff, diese Trennung mehr und mehr wieder zu verwischen, indem sie von höheren Gesichtspunkten aus auch zugleich die Thatsachen der Naturgeschichte in bezug auf ihre Entstehung und die Art und Weise ihrer Veränderung mit behandelt. Botanik und Zoologie sind durch die Physiologie in das Reich der Naturlehre mit hinübergezogen worden, die Mineralogie baut auf chemischem und physikalischem Fundament und erfährt in den Lehren der Kristallographie sogar eine durchweg mathematische Behandlung.

Das Gesamte der Erscheinungen, das Weltall, wird immer mehr als Ganzes aufgefaßt, und es bildet sich die Astronomie zu einem Zweige der Physik, ebenso wie die Geographie, welche ihren Schwerpunkt nicht mehr in der willkürlichen politischen Abgrenzung der Reiche, sondern in der geologischen und klimatischen Sonderung erblickt.

Jetzt schon ragen alle Disziplinen der Naturwissenschaften ineinander über, fast keine von ihnen kann noch gesondert behandelt werden, und wenn auch von andern Gesichtspunkten aus als früher, so gehen wir doch wieder dem Ziele einer einheitlichen Naturauffassung näher, wie sich eine solche bereits in den Anschauungen spiegelt, welche die Kulturvölker in ihren ersten Bildungsstadien der Natur unterlegten.

Unterschied man früher diejenigen Teile der Naturlehre, welche sich mit den Kräften der Natur befassen, von denjenigen, welche die Eigenschaften der Stoffe und die Art und Weise ihrer Verbindungen zu ihrem Gegenstande hatten, und nannte man die ersteren zusammen Physik, die letztere Wissenschaft aber die Chemie, so ist jetzt bereits eine solche Trennung ganz illusorisch geworden. Denn alles, was wir Eigenschaften der Körper nennen, also auch die chemischen Qualitäten, ist nichts andres als die verschiedenartige Äußerung der Wirkungen von Kräften, mit deren Untersuchung sich die Physik beschäftigt. Ein Stück Gold ist fest, weil sich seine Teilchen untereinander anziehen, es ist schwer, weil zwischen ihm und der Erde anziehende Kräfte thätig sind; es ist sichtbar und hat Farbe, weil das Licht in gewisser Weise davon zurückstrahlt; seine Temperatur empfängt es von außen; kurz, wir können keine seiner Eigenschaften ausfindig machen, die sich nicht als die Folge der Äußerung irgend einer mit der Materie nicht zu verwechselnden Kraft herausstellte. Und dazu hat die Entdeckung eines der merkwürdigsten Naturgesetze und zugleich eines der großartigsten es zur Gewißheit erhoben, daß der sogenannte chemische Prozeß nichts andres ist als eine besondere Erscheinungsweise derselben Urkraft, welche einerseits unsre Muskeln ausüben, die uns anderseits von der Sonne als Licht und Wärme zugestrahlt wird, die je nach Befinden auch als Elektrizität und Magnetismus in Wirkung tritt. Es ist dies das Gesetz von der Wechselwirkung der Naturkräfte und damit zusammenhängend das Gesetz von der Erhaltung der Kraft, deren Erkennung und klare Darlegung wir zwei deutschen Forschern, dem Arzte J. R. Mayer in Heilbronn und dem berühmten Physiker und Physiologen Helmholtz in Berlin, verdanken.

Wechselwirkung der Naturkräfte. Wenn wir mit unsern Händen rasch über eine rauhe Fläche streichen, so haben wir ein Gefühl der Wärme; die Achse eines Wagenrades erhitzt sich bei ihren Umdrehungen in den Naben, und manche Mühle ist dadurch schon ein Raub der Flammen geworden, daß die Zapfen der Mühlsteine nicht genug geschmiert worden waren und ihre Erhitzung sich so weit steigerte, um den hölzernen Mantel entzünden zu können. Woher kommt diese Wärme? Sie entsteht unter unsern Händen, denn sie war vorher nicht da. Aus nichts? — Gewiß nicht, denn dann wäre auf diesem Wege längst die Herstellung eines Perpetuum mobile: eine fortwährende, nie versiegende Kraftquelle, gefunden worden.

Der Sachverhalt ist, daß sich in dem einen Falle die mechanische Kraft unsrer Armmuskeln, in dem andern die mechanische Kraft, welche das Wagenrad und den Mühlstein umtreibt, verwandelt; sie verschwindet in ihrer ersten Form und erscheint als Wärme wieder. Wir können durch lange fortgesetztes rasches Hämmern einen Eisenkeil glühend machen; durch Schlagen eines Feuersteines gegen Stahl entlocken wir diesem Funken, und doch war die Wärme weder im Stein noch im Stahl, sie ist ebenfalls infolge der raschen Bewegung beider gegeneinander aus der mechanischen Kraft entstanden. Für diesen Satz, daß mechanische Kraft sich in Wärme verwandeln läßt, kann man Hunderte von Beispielen am Wege auflesen.

Umgekehrt ist es aber auch möglich, die Wärme wieder in mechanische Kraft umzusetzen, wie es thatsächlich in unsern Dampfmaschinen ja fortwährend geschieht. Die Wärme hat die Eigenschaft, die Körper auszudehnen. Im Conservatoire des arts zu Paris hatte eine Mauer einen bedeutenden Riß erhalten, so daß man den Einsturz derselben fürchtete. Um dem Schaden vorzubeugen, zog man in die voneinander weichenden Teile große Schraubenmuttern und verband diese mit langen, dicken Eisenstangen, welche man glühend gemacht hatte. Beim Erkalten verkürzten sich dieselben und übten dabei eine solche Gewalt aus, daß sie die Mauerstücke einander wieder näherten und der Riß verschwand. Die Kraft lag hier in nichts anderm als in der Wärme, welche man vorher den Eisenstangen beigebracht hatte, und die sich nun in eine mechanische Arbeitsleistung umsetzte.

Die Wärme verdunstet das Wasser von der Oberfläche unsrer Flüsse und Meere und hebt es auf die Kämme der Gebirge. Wenn wir daher durch das Gefälle der Bäche unsre Mühlen treiben lassen, so benutzen wir eigentlich nichts andres als die Sonnenwärme, welche sich früher dem Wasser mitteilte, und analog ist es mit der Kraft des Windes, der ja lediglich durch ungleiche Erwärmung der Erde und der Luft hervorgerufen wird.

Daß die Wärme Lichterscheinungen bewirken kann, zeigt jeder glühende Eisenstab und demgemäß auch, daß wir die Muskelkraft zur Hervorbringung von Licht benutzen oder sie in Licht verwandeln könnten. Schwieriger ist der entgegengesetzte Fall, daß Licht sich in mechanische Kraft umsetzen könne, durch direkte Versuche zu beweisen, und es ist dieser Beweis auch zur Zeit noch nicht gelungen; wir dürfen ihn aber als ausgemacht ansehen, denn es gibt eine Anzahl chemischer Prozesse, welche mit großer Kraftentwickelung vor sich gehen und die, wenn sie auch nicht bloß durch das Licht unterhalten werden, so doch wenigstens durch diese Kraft den ersten Anstoß erlangen. Beruhen sie selbst aber auf Bewegung der kleinsten Teilchen, der Atome, so muß der Anstoß, den das Licht dazu gibt, mit solcher Bewegung oder mit mechanischer Arbeitsleistung identisch sein, es mag sein quantitatives Verhältnis so gering sein wie es wolle. Eben derselbe Fall tritt bei den Pflanzen ein, welche nur im belebenden Strahl der Sonne wachsen und ihre Organe entwickeln. Ihre Gebilde, mit denen sie Menschen und Tieren zur Nahrung dienen oder welche verbrennbare Produkte darstellen, sind eben so gut ein Erzeugnis des Lichts als der Wärme, durch welche die chemische Verbindung der Stoffe erfolgte; und wenn wir Brot essen oder Holz verbrennen, so genießen wir das darein verwandelte Sonnenlicht mit, oder wir werfen es mit in unsern Ofen und stärken damit die Kraft unsrer Muskeln oder die Spannung des Dampfes.

Die elektrischen Erscheinungen lassen sich wie die Wärmeerscheinungen durch Reiben hervorrufen, aber auch die Wärme erzeugt elektrische Spannungen in den Metallen, im Turmalin u. s. w.; ja, wahrscheinlicherweise sind die gewaltigen Elektrizitätsmassen der Gewitter nichts andres als Sonnenwärme, die sich uns unter gewissen Bedingungen in dieser eigentümlichen Form zeigt. Da es nun ausgemacht ist, daß Elektrizität und

Magnetismus auf dieselbe Kraft zurückzuführen sind und die Praxis davon ja in den Elektromagneten einerseits und in den Rotationsapparaten anderseits wirkliche und nützliche Anwendung findet, so erscheint uns die Reihe der natürlichen Kräfte: mechanische Kraft, Wärme, Licht, Elektrizität und Magnetismus, in sich auf das engste zusammenhängend. Ihnen allen liegt eine einzige Naturkraft zu Grunde, oder vielmehr sie alle sind nur verschieden sich äußernde Modalitäten derselben Kraft; denn es steht in unsrer Macht, sie beliebig ineinander überzuführen und, je nachdem wir es wünschen, ihre verschiedenartigen Erscheinungsweisen ins Leben zu rufen. Ja, es wird sich der ganze Reichtum des wechselnden äußeren Lebens mit all seinen Formen und Veränderungen als die Folge einer einzigen Kraft erkennen lassen, wenn die chemischen Prozesse, die sogenannten chemischen Spannungskräfte, sich gesetzmäßig demselben Gesichtspunkte unterordnen lassen. Und daß dies in der That der Fall ist, das beweisen zahllose Vorgänge von der einfachen Vereinigung von Wasserstoff und Chlor zu Salzsäure an, welche plötzlich geschieht, sobald das helle Sonnenlicht auf ein Gemisch der beiden Stoffe fällt, bis zu dem Wachstum der Pflanze und dem wunderbaren Kreislauf der Stoffe in den belebten Organismen, bei welchem Licht und Wärme und Elektrizität nachweisbar die bedeutendste Rolle spielen. Diese Urform aller Kräfte können wir der Bequemlichkeit halber als Wärme auffassen, ohne sie damit in den Vordergrund zu stellen. Eigentlich würden wir, einen Schritt weiter gehend, auf die Bewegung bewirkende Anziehung oder Abstoßung der Atome als das Wesen der Kraft gelangen; für uns jedoch ist es genügend, der verständlicheren Vorstellung sich hinzugeben, daß alle Naturkräfte sich in Wärme umsetzen lassen, und daß diese Kraftform sich ebenso in die verschiedenen Modalitäten, wie Licht, Elektrizität u. s. w., wieder verwandeln kann.

Alle Erscheinungen und Veränderungen in der Natur sind also Kraftäußerungen, sie werden solchergestalt auf Bewegung zurückgeführt, denn alle Naturkräfte bestehen ihrem Wesen nach in gewissen Schwingungen der kleinsten materiellen Teilchen, der Atome. Bevor diese Schwingungen bestanden, gab es im unendlichen Raume keine Form, keine Abgrenzung, keinen Wechsel, keine Veränderung, keine Erscheinung überhaupt; die ungeschaffene Welt war der Gleichgewichtszustand. Dieser mußte erst zerstört werden, ehe etwas Begriffliches entstehen konnte. Den ersten Akt freilich, der die Welt schuf, der den Anstoß zu all diesen Bewegungen gab, indem er das todte Gleichgewicht der Materie störte, ihn kennen wir nicht.

Mit der bloßen Erkenntnis dieser Verwandtschaft der Kräfte wäre allerdings für die Naturauffassung ein bedeutender Gesichtspunkt gewonnen, viel bedeutender aber und von einer großartigen Erhebung wird derselbe dadurch, daß von ihm der Blick in die Ökonomie des Universums bringt und nicht nur das Vergangene, sondern auch das Kommende zu erkennen versucht, indem er es als Folge derselben Gesetzmäßigkeit erschließt, die sich ihm in der Natur offenbart hat. Stoff und Kraft, die Elemente der sichtbaren Welt, zeigen uns ein gemeinsames Grundgesetz. Die erste Wahrheit, wenn wir eine Schlußfolgerung überhaupt so nennen dürfen, ist diejenige, welche sich aus den quantitativen Verhältnissen ergibt, in denen alle chemischen Umsetzungen erfolgen. Sie zeigt uns in jedem Falle, daß bei den Veränderungen, welche die Materie erleidet, bei den chemischen Umwandlungen nie und nimmermehr auch nur das kleinste Teilchen der Materie selbst dabei verschwindet noch auch irgendwie neue Materie dabei erzeugt wird. Die Summe des vorhandenen Stoffes ist eine gegebene unveränderliche. Die physikalischen Methoden der letzten Jahrzehnte haben nun auch in bezug auf die Kraft dasselbe Resultat bestätigt, nachdem es bereits vorher sich dem Genie des Heilbronner Arztes Mayer als eine logische Notwendigkeit ergeben hatte. Wie kein Teilchen des in der Welt vorhandenen Stoffes verloren und gänzlich zunichte gemacht werden kann, so verschwindet auch kein Teil der Kraft, welche die Veränderungen, die Erscheinungen in der Natur bewirkt, und von der wir in Licht, Wärme, Elektrizität u. s. w. besondere Modalitäten wirksam sehen. Die Natur wird nicht ärmer und nicht reicher, außer an Formen, in deren Hervorbringung und Veränderung sie eine unendliche Mannigfaltigkeit an den Tag legt.

Dieselben Stoffe, welche vor Hunderttausenden von Jahren bereits die Welt der Gesteine, Gewässer, Pflanzen und Tiere bildeten, setzen sie auch heute noch zusammen, und dieselbe Kraftmenge, durch welche damals die Erscheinungen ins Leben traten, ist heute

noch in der Welt vorhanden. Es ist natürlich, daß wir, wenn wir von der Natur reden, nicht bloß die irdischen Verhältnisse im Auge haben. Es zählt dazu die ganze bestehende Welt, der ferne Sirius so gut wie unser eigner Körper, denn wir stehen mit den entlegensten Räumen des Weltalls in fortwährendem Kräfteaustausch, sei es auch nur, daß die Erde einen Teil ihrer Wärme ausstrahlt und dadurch die Temperatur des Weltraumes mit erhöhen hilft, oder daß uns von einem Nebelfleck schwache Lichtstrahlen zukommen.

Sobald nachgewiesen war, daß sich Wärme in mechanische Arbeit, diese in Elektrizität, Elektrizität in Magnetismus, Magnetismus wieder in mechanische Arbeit, in Licht und Wärme, alle zusammen aber auf die verschiedenste Weise in chemische Kräfte verwandeln ließen, tauchte die Frage auf, ob einer bestimmten Wärmemenge auch eine bestimmte Lichtmenge oder eine bestimmte Quantität elektrischer Kraft entspräche. Hervorgerufen war diese Frage durch die erkannte Thatsache, daß die Erhöhung der Kraftleistung einer Dampfmaschine einen Mehraufwand von Brennmaterial erfordert, der zu der Arbeitsleistung in einem ganz genauen Verhältnis steht. Einer gewissen Menge mechanischer Arbeit entspricht demnach auch eine gewisse Menge Wärme. Dieselbe Wärmemenge gibt immer nur dieselbe Arbeit, oder kann immer nur dieselbe Arbeit geben, wenn sie ganz und gar dazu verbraucht wird und nicht auf andre Weise, z. B. durch Ausstrahlung, nutzlos verloren geht. Es war zu untersuchen, ob ein ebensolches Verhältnis, wie zwischen Wärme und mechanischer Arbeitsleistung, auch zwischen dieser und der Elektrizität z. B. und dann ebenso unter allen übrigen Modalitäten der Naturkraft bestehe. Durch die scharfsinnigsten Methoden, deren Auseinandersetzung uns leider hier nicht vergönnt sein kann, durch die Einführung absoluter Maße, mit denen die einzelnen Kräfte in ihren Wirkungen gemessen und ihrer Quantität nach auf das genaueste bestimmt wurden, gelang es, diese Frage dahin zu lösen, daß ein solches Verhältnis, wie es bestehen müßte, wenn die verschiedenen Kraftmodalitäten wirklich ineinander übergeführt werden könnten, auch in der That bestehe, daß sich bei dem Übergange der einen Modalität in die andre nur die Qualität, nicht aber die Quantität verändere. Wie eine bestimmte Wärmemenge eine bestimmte mechanische Arbeitsleistung ergibt, so entspricht derselben ein gewisses Quantum von Elektrizität, Magnetismus u. s. w., und diese stehen unter sich genau wieder in demselben Verhältnis.

Nun kann es zwar scheinen, als ob bei den unausgesetzt in der Natur vorgehenden Umwandlungsprozessen nicht immer ein gleicher Effekt durch die gleichen Mittel erreicht würde. Das ist aber in der That nur scheinbar, da unsre gewöhnliche Beobachtungsgabe nicht ausreicht, allen den Wegen nachzuspüren, auf denen Teile der Kraft durch die Umstände verleitet werden, sich uns zu entziehen. Für ausschlaggebende Fälle ist durch direkte Messung nachgewiesen, daß ein Verlust nicht stattfindet — und was für den einzelnen Fall das Experiment, Maßstab, Wage und Gewicht nachweist, dafür hat auch die Mathematik den gesetzmäßigen Ausdruck gefunden. — Dieses ist das **Gesetz von der Erhaltung der Kraft**: die großartigste Entdeckung neben der Entdeckung des Gesetzes von der Gravitation, und der Name Mayer verdient mit Recht neben dem Newtons genannt zu werden.

Julius Robert **Mayer** wurde zu Heilbronn am 25. November 1814 geboren. Auf dem Gymnasium seiner Vaterstadt und später zu Schönthal vorgebildet, studierte er zunächst in Tübingen, später in München und Paris Medizin, und machte 1840 als Schiffsarzt eine Reise nach den holländischen Besitzungen in Asien. Der mehrmonatliche Aufenthalt in Batavia, der ihm die Beobachtung eintrug, daß in dem heißen Klima das Blut der Arterien in seiner Farbe wenig von dem Venenblute verschieden sei, wurde dadurch die Veranlassung zur Entdeckung des Gesetzes, das wir in dem Vorhergehenden besprochen haben. Die in ihrer Klarheit bewundernswürdige Schlußfolgerung ließ den jungen Arzt in der geringeren Umänderung des Blutes ein durch die äußere Wärme vermindertes Wärmebedürfnis des Körpers erkennen, zu dessen Befriedigung die Verbrennung einer geringeren Menge Kohlenstoff aus dem Blute hinreiche, als in kälteren Gegenden verbraucht wird. Arbeitsleistung und Kohlenstoffverbrauch erschienen in einer bestimmten Relation, deren Aufklärung sich Mayer zur Aufgabe machte, als er 1841 nach Württemberg zurückgekehrt war und sich in Heilbronn niederließ. Die ersten Veröffentlichungen Mayers gingen fast spurlos vorüber — erst das zusammenfassende Werk „Bemerkungen über das mechanische Äquivalent der

Wärme", welches 1851 erschien, öffnete den Physikern die Augen. Namentlich war es Helmholtz, der die darin ausgesprochenen Gesetze von der Wechselwirkung der Naturkräfte und von der Erhaltung der Kraft durch mathematische Behandlung und glänzende Darstellung nun sofort zu Fundamentalsätzen der Physik machte.

Die Gerechtigkeit verlangt übrigens, zu erwähnen, daß dieses große Gesetz schon vor seiner bestimmten Aussprache von einer Anzahl von Forschern und Philosophen geahnt worden ist. Wie könnte es auch anders sein — die Annahme seines Nichtbestehens war wenigstens in unsrer Zeit für den Denkenden unhaltbar. Allein diese Ahnung, welche man aus schriftlichen Äußerungen nicht nur von Newton, Descartes, Huyghens, Bernoulli und andern mathematischen Genies, sondern sogar aus einem Passus aus den Schriften Ciceros herauslesen will, bleibt bei allen vage und unbestimmt, nicht mehr und nicht weniger als ein sehr richtiges Gefühl für die ökonomische Harmonie der Natur. Und selbst, wo, wie bei Friedrich Mohr, sich dieses Gefühl in bestimmtere Ausdrücke kleidet, ist es nie verbunden gewesen mit der Erkenntnis, daß ihm ein Axiom der Natur zu Grunde liegt. Erst Mayer hat dies mit Bewußtsein ausgesprochen, nachdem er das mechanische Äquivalent der Wärme nachgewiesen, und er war dadurch der erste in der Lage, die Folgerungen zu ziehen, welche die ganze Welt der natürlichen Erscheinungen und ihren Verlauf in der Zukunft einschließen.



Fig. 8. Julius Robert Mayer.

Denn die Frage liegt nahe: Wenn nichts von Stoff und Kraft verloren geht, nichts aus der Welt verschwindet, welche Aussicht ist dann vorhanden, daß sie auch immer in der gegenseitigen Wechselwirkung verbleiben, die die jetzige Welt im Bestehen erhält? Mit andern Worten: haben wir Gründe, an einen Untergang der Welt zu glauben, und welcher Art wird derselbe sein?

Nach den vorausgegangenen Betrachtungen ist die Antwort darauf eine wesentlich erleichterte. Denn da wir gesehen haben, daß weder von Stoff noch von Kraft irgend ein Teil verschwinden kann, so wird schon niemand mehr dem Gedanken Raum geben, daß, wenn von einem Untergange der Welt die Rede ist, damit eine völlige Vernichtung, das Entstehen einer großen Leere, eines Nichts gemeint sein kann. Es wird vielmehr eben nur an einen Untergang der Formen, an ein Aufhören der verändernden Kräfte gedacht werden können. Und da auch die Kräfte nicht verschwinden können, so bleibt nur noch der Fall eines Weltunterganges übrig, daß ihnen die Gelegenheit sich zu äußern durch die Umstände genommen wird.

Dieser Fall aber muß, wenn wir den erkannten Gesetzen eine Dauer zugestehen dürfen, notwendig einst eintreten, und jeder Tag, der an uns vorübergeht, verringert die Zeit, die zwischen heute und dem großen Tode liegt.

Alle Kräfte nämlich wirken, indem sie sich ausgleichen. Nur wenn ein Körper in seiner Temperatur eine Veränderung erleidet, so daß er entweder Wärme empfängt oder Wärme an einen andern abgibt, verändert er sein Volumen und kann mechanische oder elektrische oder Lichterscheinungen hervorrufen. Er mag noch so heiß sein, noch soviel Wärme in sich aufgenommen haben, wenn alles um ihn herum eben so warm ist, so daß

kein Ausgleich, keine Änderung der Temperaturverhältnisse stattfinden kann, wird alle diese Wärme keine Kraftäußerung bewirken können. Sie wirkt nur durch den Gegensatz zu weniger warmen Körpern, auf die sie übergehen kann. Ein Gleiches ist es mit dem Licht, das nur Veränderungen und Erscheinungen hervorrufen kann, solange es noch Dunkelheit gibt. Die Elektrizität bringt ihre eigentümlichen Effekte hervor, wenn sich positive und negative Elektrizität vereinigen, und im Magnetismus tritt uns derselbe Fall im Gegensatz der Pole unter die Augen.

Wollen wir also einmal alle diese Kräfte der Welt zusammengenommen in Wärme verwandelt denken, so wird alle Bewegung und alle Veränderung, alles Leben aufhören, wenn durch den ganzen Weltraum eine gleiche Temperatur herrscht, wenn es keinen wärmeren und keinen kälteren Raum mehr gibt. Die gegenseitige Anziehung der Himmelskörper ist geschwunden — denn sie ist zu Wärme geworden — die Bewegung der Gestirne hat längst aufgehört, ebenso die Anziehung der kleinsten Teilchen, durch welche die Körper Festigkeit haben. Der Stoff hat seine Form aufgegeben — er ist ein atomistischer Staub geworden. Kein Lichtstrahl zittert durch die dunkle Nacht — alles Licht ist Wärme, und selbst diese ist unwirksam geworden. Ihr letzter Effekt ist der gewesen, im ganzen Raume die letzte Spur der Gegensätze auszugleichen; es herrscht ein vollständiger Friede, eine ewige Ruhe in der Welt.

Diesen endlichen Ausgang alles körperlichen Lebens können wir allerdings vorhersagen, denn wie die Erde bisher immer mehr und mehr von ihrer eigentümlichen Wärme verloren und in den Weltraum ausgestrahlt hat, wie sie jetzt sich in ihrem Zustande nur durch die Zustrahlung von der Sonne erhält, so wird auch diese ihre Lebensquelle nach und nach versiegen, denn die fortdauernde Ausgabe muß auch den Wärmevorrat der Sonne endlich erschöpfen. Und wie die in der Sonne aufgespeicherte Wärmemenge sich verteilen wird, so wird dasselbe schließlich der Fall sein mit der Wärme aller andern Gestirne, sowie mit derjenigen, welche in der lebendigen Kraft, in der Bewegung dieser schweren Massen, in der Anziehung ihrer Teile u. s. w. liegt. Die elektrischen, magnetischen, die Lichterscheinungen, die chemischen Prozesse, Leben und Wachstum der organischen Welt — alles verschiedene Erscheinungsweisen derselben Kraft, die wir jetzt als Wärme angenommen haben, werden mit dieser schwächer werden und endlich ganz und gar sich zu äußern aufhören, sobald eine gleichmäßige Temperatur den ganzen Weltraum erfüllt. Wir können aber nicht, auch nur entfernt, den Zeitraum bestimmen, der uns von diesem endlichen Tode noch trennt. Ist es durch Thatsachen erwiesen, daß sich seit mehr als 2000 Jahren die Wärmeverhältnisse der Erde nicht um $^1/_{100}$ Grad geändert haben, so muß die wahrscheinliche Dauer der Welt für uns eine ganz unbegreifliche bleiben; und der Blick in die ferne Zukunft, welche doch dem Forscher den sichern Tod zeigt, kehrt nicht niedergeschlagen, vielmehr erhoben zurück, denn das große Gesetz, das er erkannt hat, zeigt für menschliche Begriffe eine Unendlichkeit von Wandlungen, die alle das Leben noch zu durchlaufen hat, ehe es zur ewigen Ruhe einkehrt. Und so schnellfüßig der Tod sein mag, er gleicht hier dem Achill, der die Schildkröte nicht zu ereilen vermag.

Wir haben unsre Leser diesen Gedankengang deshalb unternehmen lassen, um ihnen die Fruchtbarkeit und hohe Bedeutung der Wissenschaft zu zeigen, deren Anwendungen auf das Leben uns in diesem Bande beschäftigen werden.

Die Physik ist die Grundwissenschaft der ganzen sichtbaren Welt; sie führt unsern Geist in ungeahnte Fernen des Raumes und der Zeit und gibt doch mit derselben Gewissenhaftigkeit dem Handwerker das Gesetz der Schraube oder des Hebels in die Hand. Die größten Fortschritte der letzten hundert Jahre verdanken wir ihr.

Geschichte der Physik. Ist der Anlaß zur Beobachtung von Naturerscheinungen auch ein fortwährender, so daß diese schon die frühsten Geschlechter beschäftigt haben muß, so gehört doch ein ziemlicher Grad von Ausbildung des Geistes dazu, um das Beobachtete nach Regeln zu ordnen, und noch mehr, um aus den Erscheinungen auf ihre Ursachen zu schließen. Bereits die ältesten Menschen haben von physikalischen Gesetzen bei der Konstruktion ihrer einfachen Maschinen unbewußt Gebrauch gemacht, spätere haben einen großen Reichtum von Thatsachen gesammelt, aber die ersten Anfänge einer wissenschaftlichen Verwertung dieses Materials reichen nicht so sehr weit in die Vergangenheit zurück.

Erst bei den Ägyptern treffen wir auf Anzeichen, die uns dieses Land, wie es die Wiege der Kultur für Griechenland überhaupt war, auch namentlich als die Heimat der ersten wissenschaftlichen Bildung in bezug auf Mathematik, Physik, Astronomie und Chemie ansehen lassen. Indessen scheinen diese Keime der Naturwissenschaften bei den meisten mit den Ägyptern hauptsächlich in Berührung gekommenen Nationen keinen oder nur wenig günstigen Boden gefunden zu haben. Die handeltreibenden asiatischen Völker hatten zunächst andre Zwecke. Als indessen die Schiffahrt der Phöniker sich vervollkommnete und ihre Kolonien und Handelsexpeditionen die genauere Kenntnis entlegener Länder, namentlich der Nordküste Afrikas, vermittelten (Karthago), mögen auch hier Fortschritte in der Naturkunde nicht ausgeblieben sein. Mancherlei Kenntnisse und Erfindungen, die man diesem betriebsamen Volke zuschreibt (Salpeter, Glas, Bernstein u. s. w.), dürfen wir indessen nicht als auf wissenschaftlichem Wege erlangte betrachten — sie waren Ergebnisse des Zufalls und geben als solche gar keinen Maßstab für die Beurteilung der Stufe, auf welcher die Naturwissenschaften gestanden haben könnten. — Daß die Hebräer aus Ägypten eine große Menge von Kenntnissen mitbrachten, lehrt uns die Geschichte von Moses; allein die politisch unruhigen Verhältnisse dieses Völkerstammes ließen der Naturkunde keine fruchtbare Pflege angedeihen. Mehr scheint der ernste Sinn der Etrusker der Erforschung des geheimnisvollen Wesens der Welt sich zugewandt zu haben.

Die eigentlichen Erben der Ägypter waren aber erst das geistreiche Volk der Griechen. Die bedeutendsten Männer derselben vervollständigten ihre Erziehung in Ägypten; weitere Reisen brachten ihnen eine Fülle direkter Beobachtungen zu, und die Regsamkeit des griechischen Geistes drang auf selbständige Beantwortung der auftauchenden Fragen. Und wenn daher auch Ägypten mächtige Impulse der ersten Entwickelung gab, so muß man nichtsdestoweniger eine originelle und ursprüngliche Ausbildung, wie aller Wissenschaften, so namentlich auch der Naturkunde, den Griechen zugestehen.

Zuerst übte sich der philosophische Sinn in der Erklärung der Weltentstehung (Kosmogonien); dies führte zu der Annahme von Urbestandteilen (Elementen). Empedokles (460 v. Chr.) beseitigte mit seiner Lehre von den vier Grundelementen: Feuer, Wasser, Luft und Erde, alle früher aufgetauchten Theorien, und merkwürdigerweise hat sich dieses Dogma lange zu erhalten gewußt. Leider aber hatte man in der an tiefen Köpfen so reichen Zeit um 500 v. Chr. noch nicht den Wert der Beobachtung erkannt; eine geistreiche Idee und einige zufällige Übereinstimmungen genügten, Fleiß und Genie in Bewegung zu setzen, um ein System der Welt zu schaffen. Bedeutende und kenntnisreiche Männer haben deshalb auch nicht jenen Nutzen gestiftet, den sie ihren Fähigkeiten nach hätten erreichen können.

Erst mit Demokritos von Abdera (starb 404 v. Chr.), Sokrates und Aristoteles begann eine neue Periode. Wenn durch die ersteren auch direkt keine Bereicherungen des naturwissenschaftlichen Materials gemacht wurden, so war doch die richtigere Methode, welche sie der Sophistik gegenüber aufstellten, von der größten Fruchtbarkeit; der Philosoph aus Stagira dagegen, durch seinen großen Schüler Alexander mit unermeßlichen Hilfsmitteln versehen, erweiterte die Kenntnis von Thatsachen auf das großartigste und machte dadurch die Naturkunde eigentlich erst zu einer selbständigen Wissenschaft, welche sie vorher nicht gewesen war.

Was speziell die Physik anbelangt, so waren es zunächst die Bewegungserscheinungen der Gestirne, welche zur Erforschung aufforderten; mit der sich entwickelnden Astronomie ging die physische Geographie Hand in Hand, Eratosthenes aus Kyrene (228 v. Chr.) versuchte die erste Messung des Erdumfanges. Bei den Erscheinungen des Lichtes, der Elektrizität, welche die Griechen am Bernstein (elektron) beobachteten, bei der anziehenden und abstoßenden Kraft des Magnetes, die ihnen ebenfalls bekannt war, begnügten sie sich noch mit symbolisierenden Deutungen; und wenn der Versuch, den Schweigger gemacht hat, die ganze Götterlehre als eine symbolisierte Naturauffassung anzusehen, in dieser Weise nicht zu gewagt wäre, so würden wir allerdings den in jene Lehren Eingeweihten eine große Kenntnis naturwissenschaftlicher Thatsachen zugestehen müssen.

Die Römer entnahmen, wie überhaupt ihre geistige Bildung, so auch ihre Naturerkenntnis dem von den Göttern geliebten Griechenland. Es ist aber bereits an andrer

Stelle*) hervorgehoben worden, daß und warum unter diesem Volke eine eigentümliche Ausbildung der Naturwissenschaften überhaupt nicht statthaben konnte. Nur etwa die Mathematik und einzelne verwandte Zweige der Kriegswissenschaften (Befestigungswesen, Baukunst) erhielten Förderung, im übrigen wurden einzelne Fragen der Naturkunde zwar Gegenstand merkwürdiger poetischer Darstellung — ein eigentlicher Forschungstrieb aber fehlte. Selbst die beiden Plinius und der verdienstvolle Strabo hatten mehr Sammlereifer als Bedürfnis nach Erkenntnis der Gesetzmäßigkeit der Erscheinungen.

Dagegen treten die Araber als wirkliche Beförderer der Naturwissenschaften auf, waren sie doch durch ihre Lebensweise im Freien bereits mit einigen Zweigen derselben, Astronomie und Meteorologie, ziemlich vertraut. Die mathematischen Disziplinen waren es daher auch zuerst, denen man eine aufmerksame Pflege angedeihen ließ; sodann aber treffen wir hier auf die Anfänge der Chemie, welche nach Spanien und durch die Kreuzfahrer dem westlichen Europa zugeführt wurden. Es lag in den Verhältnissen, daß hier diese Wissenschaften eine eigentümliche Behandlung erfuhren. Jahrhundertelang hatten fast alle Gebiete geistiger Forschung öde gelegen, und die Folgen einer dadurch entarteten Denkweise verkümmerten noch die Anfänge der eintretenden Läuterung. Die Astronomie wurde als Astrologie gemißbraucht, und erst Keppler vermochte sie aus diesen unwürdigen Fesseln ganz zu befreien; die Chemie sank zur Alchimie herab. Aber trotz alledem zeigte sich die ewig frische Kraft jener Wissenschaften darin wirksam, daß sie den befangenen Sinn wieder auf die Natur hinlenkten; das Vertrautwerden mit ihren Erscheinungen und Gesetzen machte endlich auch die Gedanken frei, die durch Galilei und Kopernikus den ersten Riß in jene furchtbare Decke der Dummheit und Lüge rissen, welche die Priesterherrschaft über die Völker gebreitet hatte.

Albertus Magnus (starb 1280), Roger Baco (1294), der Optiker Vitellion (1280), Konrad von Meyenberg (1349), Raymundus Lullus (starb 1315), Thomas von Aquino (1274), Johann von Gmünden (1442), Georg von Peurbach (1461) und Johannes Müller Regiomontanus (geboren 1436, gestorben 1476) sind Namen, welche alle Zeiten mit hoher Verehrung nennen. Bereits um das Jahr 1300 gab Theodoricus von Apolda eine Erklärung des Regenbogens; die Brillen sind um dieselbe Zeit etwa erfunden worden, und es scheint, daß wir diese Erfindung Alexander von Spina zu verdanken haben; einige Jahre früher vielleicht hatte Flavio Gioja aus Amalfi die Magnetnadel erfunden.

Die Schiffahrt, welche durch die Anwendung des Kompasses ihre Grenzen erweiterte, ließ die Linie ohne Abweichung von Kolumbus entdecken. Derselbe erkannte auch die Abnahme der Temperatur nach den höheren Luftschichten hin. Eines bedeutenden Physikers des 15. Jahrhunderts haben wir in Leonardo da Vinci zu erwähnen, der nicht nur die ihm durch seine Kunst nahe gelegten Gebiete der Optik und die Lehre vom Sehen, sondern auch die Hydraulik bearbeitete, vielerlei sinnreiche Maschinen konstruierte und in die damals ohne jede wissenschaftliche Grundlage traktierte Meteorologie einfache Begriffe einführte. Seine wissenschaftliche Auffassung der natürlichen Dinge und ihre planmäßige Behandlung lassen ihn schon von demselben Geiste erfüllt erscheinen, der später durch Bacon von Verulam Eingang in die Forschung fand.

Regiomontanus hatte zu Anfang der zweiten Hälfte des 15. Jahrhunderts parabolische Brennspiegel hergestellt und die Dezimalrechnung erfunden, Erd- und Himmelsgloben verfertigt, die Libration des Mondes und die Schiefe der Ekliptik beobachtet, vor allen Dingen aber auch auf Kopernikus einen so direkten Einfluß durch seine Forschungen ausgeübt, daß sein Name sich in ruhmvoller Weise mit der Ausbildung desjenigen Weltsystems verknüpft, welches die Grundlage der rationellen Naturwissenschaften geworden ist.

Die erste große That, nachdem Kopernikus (starb 1543) bereits sein System aufgerichtet hatte, geschah durch Keppler, dessen Bewegungsgesetze der Gestirne, sowie die von seinem nicht minder hervorragenden Zeitgenossen Galilei entdeckten Pendelgesetze eine völlig neue Epoche einleiteten, seit welcher die Naturforschung genaue Beobachtung und

*) Einleitung zu Bd. I des „Buch der Erfindungen“.

unmittelbar daraus abzuleitende, klar aufzufassende Schlüsse allein als einzige untrügliche Autoritäten betrachtet. Keppler ist auch der Erfinder des nach ihm benannten astronomischen Fernrohrs, dessen Konstruktion eine Frucht seiner optischen Untersuchungen war. Die richtige Theorie der Funktionen des Auges wurde von ihm entwickelt auf Grund der erkannten Gesetze der Lichtbrechung, und der Name Dioptrik, den dieser Zweig der Optik führt, rührt von Keppler her. Und wie Regiomontanus dem Kopernikus, so wurde Keppler dem das Gravitationsgesetz auffindenden Newton ein Vorläufer; seine Ansichten über die Anziehung der Körper hätten die Erkenntnis des Gesetzes der Schwere eher zur Reife bringen können, als es so der Lauf der Dinge war. Elektrizität und Magnetismus wurden von Gilbert untersucht, welcher der erste war, der den auf diesem Gebiete beobachteten Erscheinungen einen geordneten Zusammenhang gab. Das Barometer wurde erfunden, nachdem Torricelli die Ursache des atmosphärischen Druckes erkannt und den „horror vacui“ aus den Köpfen getrieben hatte. Die Erfindung des Mikroskops und des Fernrohres war gemacht, und wenn wir das Thermometer, von Drebbel 1638 erfunden, hinzunehmen, so sehen wir die exakte Forschung im Verlaufe von wenig mehr als einem Vierteljahrhundert mit ihren Fundamentalinstrumenten ausgerüstet.



Fig. 4. Johannes Müller aus Königsberg in Unterfranken, gen. Regiomontanus.

Hatte der geniale Bacon von Verulam (geboren 1561, gestorben 1626) den durch Keppler und Galilei begründeten Umschwung der Physik bereits durch das Überzeugende seines Stiles vorbereitet, so war anderseits durch Cartesius die mathematische Methode für die Behandlung physikalischer Probleme in den Vordergrund geschoben worden, und es geschah durch Huyghens, den Erfinder des Sekundenpendels und dessen Anwendung zur Zeitmessung, ganz besonders aber durch Isaak Newton aus Woolstrope (geboren 1642, gestorben 1727), eine so entschiedene Feststellung der neuen Methode, daß dieselbe für lange Zeiten Richtschnur bleiben zu wollen scheint. Die früher für unglaublich kompliziert gehaltenen Erscheinungen ließen sich durch sie in einfache Ausdrücke bringen, und die erkannte Gesetzmäßigkeit wurde nun auch in ergiebigster Weise verwendbar. Obwohl Newton nicht mit der Ausschließlichkeit wie Cartesius die mathematische Behandlung pflegte, vielmehr die Lösung von Fragen, wie der nach der Natur des Lichtes u. s. w., gerade durch die genauesten und mühsamsten Experimente, die heute noch unübertroffen dastehen, zu erreichen suchte, so blieb ihm doch auch hier, wie bei seinen mechanischen, rein auf Bewegung zurückkommenden Problemen, die Mathematik der letzte Prüfstein, und gerade durch das stete Zurückbeziehen auf die durch das Experiment gewonnenen Erfahrungen hielt er die Forschung von dem sich Verlieren in grundlosen Spekulationen fern, denen die alten Philosophen oft von rein mathematischem Standpunkte aus verfallen waren und denen selbst Keppler und Cartesius zuneigten. Welchen Anteil Newton an der Ausbildung der Physik, der er das Gesetz der Schwere entdeckte, auch noch durch seine optischen Untersuchungen erwarb, werden wir bei dem Kapitel vom Licht zu betrachten Gelegenheit haben.

Noch vor ihm und gleichzeitig mit ihm arbeiteten Otto von Guericke (geboren 1602, gestorben 1686); die Franzosen Paul de Fermat (gestorben 1665) und Blaise Pascal (geboren 1623, gestorben 1662); Mariotte (gestorben 1686), der das berühmte Gesetz

von der Verminderung des Luftdrucks auffand, die Bernoullis und vor allen hervorzuheben Christian Huyghens (starb 1695). Huyghens entdeckte die Polarisation, welche ein Lichtstrahl erleidet, wenn er durch einen Kristall von isländischem Doppelspat geht, diese Fundamentalbeobachtung, welche der Undulationstheorie zu Grunde liegt, und hat diese Theorie selbst aufgestellt. (Die Polarisation durch Spiegelung fand Malus im Jahre 1808 und drei Jahre später Arago die farbige Polarisation.) — Hooke und Grimaldi hatten schon 1665, vor Huyghens, Interferenzerscheinungen beobachtet, welche ebenfalls nur durch die Annahme von Lichtwellen erklärt werden konnten; allein sie haben ihre Beobachtungen nicht in dieser Weise verwertet, und Huyghens muß daher der Ruhm bleiben, eines der sublimsten physikalischen Gesetze begründet zu haben. Unter den frühsten Verteidigern dieses anfänglich arg befeindeten Satzes, nach welchem alle Lichterscheinungen auf Wellenbewegungen eines eigentümlichen Fluidums, des Lichtäthers, zurückzuführen sind, treffen wir Euler, während Newton, obgleich er alle in Frage kommenden Erscheinungen auf bewundernswürdige Weise untersucht und diskutiert und damit die neue Theorie mit neuen Stützen versieht, sich doch einer direkten Beantwortung der Frage nach der Natur des Lichtes enthält.

Aus dieser Zeit stammt (außer den schon erwähnten großen Gesetzen der Schwere, des Luftdruckes und des Lichtes) die Erfindung der Luftpumpe, des Sperrhahns, der Magdeburger Halbkugeln, der Elektrisiermaschine, der Laterna magica und des Kaleidoskops, von denen letzteren der gelehrte Pater Kircher zuerst Nachricht gibt; der Pendeluhren und der Ankerhemmung in denselben (Huyghens), der Spiegelteleskope, des Manometers, des Nonius, des Hygrometers. Ja, auch die ersten Ideen der Dampfmaschine treten schon zu Tage, deren weitere Ausbildung wir aber erst im folgenden Jahrhundert erblicken.

Im 18. Jahrhundert und bis heute dürften wir eine lange Reihe von Namen und Erfindungen verzeichnen, ohne damit auch nur einen halbwegs vollständigen Überblick über den Stand unsrer Wissenschaft geben zu können. Rüstig ging es auf dem eingeschlagenen Wege weiter, und namentlich waren es die Elektrizität und der Magnetismus, deren Erforschung jetzt eifrig betrieben wurde. Die Akustik, die Lehre vom Schall, fand zwar Bearbeitung durch Euler, allein gegenüber den andern blieb dieser Zweig der Physik zurück, wogegen die Lehre von den Gasarten und Dämpfen durch Priestley eine lichtvolle Darstellung erfuhr. Watt, Gray, Nollet, Franklin, Picard, Muschenbrock, Galvani, Volta, Young, Malus, Oerstedt, Faraday, Fresnel, Arago, Brewster, Biot, Melloni, Daniell gehören schon dem vorigen Jahrhundert an. Ampère, Seebeck, de la Rive, Regnault, Gay-Lussac, Fechner, Pfaff, Wilhelm Weber, Gauß, Mayer, Poggendorf, Tyndall, Rieß, Pouilet, Jolly, Clausius, Magnus, Dove, Kirchhoff, Bunsen, Helmholtz, Foucauld, Lissajous, Plücker, Wiedemann, König, Siemens und zahlreiche andre teilen sich in den Ruhm, den die Physik des 19. Jahrhunderts sich erworben hat.

Wenn wir aber aus dem 18. Jahrhundert das folgenwichtigste Moment aus dem Gebiete der physikalischen Entdeckungen oder Erfindungen herausgreifen sollen, so ist dies unbedingt die Erfindung der Dampfmaschine, jenes Apparates, mittels dessen nach Belieben mechanische Kraft lediglich durch Wärme erzeugt werden kann. Die Dampfmaschine, welche mehr als alle vorhergegangenen Errungenschaften, mehr als der Zug Alexanders des Großen nach Indien, mehr als die Entdeckung Amerikas die Verhältnisse der Menschen umgestaltet hat, welche die Entfernungen zwischen den Völkern verwischt, die Grenzen der Politik und Nationalitäten aufgehoben, die Kräfte für unsre Bauten oder für die Verarbeitung der Rohstoffe zu Gegenständen des Nutzens und des Vergnügens tausendfach vermehrt und wohlfeiler gemacht, welche die Armut vertrieben hat, denn sie wirkt nivellierend, indem sie jeden Überfluß nach den Orten des Mangels wendet, welche das kostbarste Gut unsres kurzen Lebens, die Zeit, vermehrt und den Menschen auf höhere Stufen hebt, indem sie ihm die niedrigen mechanischen Kraftleistungen abnimmt, zu denen er mit dem Tiere verdammt war — die Dampfmaschine ist nicht viel über hundert Jahre alt. Im Jahre 1769 wurde sie von James Watt erfunden — nicht durch Zufall, wie der stumpfe Neger in den Diamantdistrikten Brasiliens den edlen Stein im Sande glänzen sieht, sondern durch scharfes,

emsiges Nachdenken über die Natur des Dampfes. Fast 2000 Jahre früher schon hatte Hero von Alexandrien eigentümliche Wirkungen des Wasserdampfes beobachtet und darauf einen merkwürdigen Apparat gegründet. Schon damals lag alles so nahe, aber weder der Dampfcylinder mit seinem beweglichen Kolben, noch auch anderseits die Turbine, deren Prinzip sich ebenfalls in jenem alten Apparate zuerst aussprach, gingen damals daraus hervor. — Wenig älter nur als die Dampfmaschine ist der Blitzableiter (1752). Obwohl manche den alten Griechen gern eine genaue Kenntnis der Elektrizität zuschreiben möchten und behaupten, daß diese, um die verderblichen Blitze von den Tempeln ihrer Götter abzulenken, hohe Bäume um dieselben gepflanzt hätten, so gebührt doch das unbestreitbare Verdienst dieser großen Erfindung dem großen amerikanischen Bürger Benjamin Franklin. Zu Anfang des 18. Jahrhunderts wurde der innere ursächliche Zusammenhang der elektrischen Erscheinungen aufgedeckt, und erst auf Grund dieser Wissenschaft wurde es möglich, die Natur des Gewitters zu erkennen und Mittel zur Abwendung seiner schädlichen Wirkungen zu erfinden. Alle andern Erfindungen auf dem Gebiete der Elektrizität und des Magnetismus fallen in eine spätere Zeit, denn es ist notwendig, daß die fundamentalen Wahrheiten vorher ausgesprochen sein müssen, ehe die darauf sich stützenden Anwendungen und Schlüsse gemacht werden können.



Fig. 5. Bacon von Verulam, nach der Statue in der Westminsterabtei.

Man hat seit dem grauen Altertum schon die verschiedenartigsten Versuche gemacht, zu telegraphieren. Der Fall Trojas wurde von Agamemnon an seine Gemahlin Klytämnestra noch in derselben Nacht auf eine Entfernung von über 70 Meilen durch verabredete Feuerzeichen gemeldet. Aber trotzdem, daß das Bedürfnis nach raschester Mitteilung in die Ferne zu allen Zeiten ein höchst dringliches geblieben ist, konnte die Telegraphie ihre heutige wunderbare Ausbildung erst dann erlangen, nachdem der Elektromagnetismus entdeckt (Anfang dieses Jahrhunderts), nachdem Ampère, Gauß und Weber ihre bewundernswürdigen Untersuchungen über diesen Gegenstand gemacht, und Männer wie Steinheil, Morse u. a. durch zahlreiche neue Beobachtungen oder sinnreiche Anwendungen die praktische Verwendung erleichtert hatten.

Fast alle die Instrumente und Apparate, welche bestimmt sind, gewisse Erscheinungen oder Kräfte zu messen, um die Wirkungen dieser miteinander vergleichen zu können, sind erst seit dem 17. Jahrhundert erfunden worden: Thermometer, um die Wärme, Barometer, um den Luftdruck, Manometer, um die Dampfspannung, Elektrometer, um die Elektrizitätsmengen zu messen u. s. w. Nur die Wagen sind eine alte Erfindung, sie haben aber dafür eine solche Vervollkommnung und Erweiterung der Anwendung erfahren, daß wir ihre zweite Erfindung als physikalisches Instrument in die Zeit der französischen Revolution setzen können. In der Methode, alle Erscheinungen auf ihr Maß zu untersuchen, liegt aber der Kern der neueren Physik. Alle ihre Erfahrungen erhalten dadurch eine, von unsern

unsicheren Sinneswahrnehmungen unabhängige, absolute Bedeutung, die einzig und allein der mathematischen Behandlung zugänglich ist. Und nur auf diesem Wege können wir die Erscheinung, welche uns zu beobachten von Wert ist, genau in derselben Weise wieder hervorrufen (Experiment). Oder wäre es möglich, auch nur die Behauptung aufzustellen, daß das Wasser stets bei derselben Temperatur gefriert oder auftaut, wenn wir keinen andern Maßstab für die Wärme hätten als das Gefühl unsrer Nerven?

Die Meßinstrumente und die Meßmethoden allein vermögen die Antwort auf die an die Natur gestellten Fragen uns verständlich zu machen, sie in eine allgemeine Sprache zu übersetzen. Ein Gleiches vermag keine Naturphilosophie mit all ihren Definitionen und Erklärungen, welche das kräftige materielle Leben durch leere Redensarten ausdrücken wollen. Mit all dem Bombast ganzer Herden solcher sogenannter Philosophen ist kein einziges Gesetz entdeckt, keine einzige Erscheinung erklärt, keine dem Leben nutzbringende Anwendung gemacht worden. Der wahre Naturforscher ist ein Feind der Worte — oft umfassen wenige Zeilen die Resultate jahrelangen, mühseligen Arbeitens, aber diese wenigen Zeilen schreiben sich unauslöschlich in das Buch der Menschheit.

Die allgemeinen Eigenschaften der Körper.

Wenn ein Bildhauer einen Marmorblock bearbeitet und dem umgestalteten Steine Form und Seele gibt, so hilft ihm zur Erreichung seines Zweckes ein physikalischer Vorgang. Wir nennen nämlich im engeren Sinne alle diejenigen Veränderungen und Erscheinungen, bei denen die innere Zusammensetzung der Körper keine Änderung erleidet, physikalische im Gegensatz zu den chemischen, bei denen eine solche Umwandlung des Stoffes, eine Veränderung der innern Zusammensetzung, gerade das Wesentlichste ist. Die abgeschlagenen Marmorstückchen sind aber ihrer innern Natur nach genau dasselbe, was der Marmorblock ist; anders wäre es freilich, wenn wir uns anstatt des Meißels und des Schlägels einer ätzenden Säure bedienen wollten, um Überflüssiges zu entfernen. Denn diese löst den Marmor auf, und indem sie die darin enthaltene Kohlensäure austreibt, verändert sie die innere Zusammensetzung und wirkt also auf chemische Weise. Obwohl wir oben schon erörtert haben, daß eigentlich die Chemie nichts andres als ein Zweig der Physik sei, so wollen wir doch von nun an, der leichteren Übersichtlichkeit wegen, welche eine derartige Einteilung gewährt, uns derselben Unterscheidung anbequemen, welche das gewöhnliche Leben zwischen chemischen und physikalischen Vorgängen macht. — Die Einwirkung der mechanischen Kraft, welche den Marmorblock nach dem Sinne des Künstlers ummodelte, zeigt sich zunächst in nichts anderm als in der Lostrennung einzelner Teile von der großen Hauptmasse. Wäre der Marmor nicht „teilbar“, so würde seine Verwendung zu Werken der Bildnerei nicht möglich sein.

Die Teilbarkeit, welche allen in der Natur vorhandenen Körpern eigen ist und die wir deshalb eine allgemeine Eigenschaft derselben nennen, hat für unsre Sinne eigentlich keine Grenzen. Wir vermögen einen kleinen Marmorsplitter mit dem Hammer in noch kleinere zu zerschlagen, diese in einem Mörser zu einem ganz feinen Pulver zu zerstoßen, und trotzdem, wenn wir ein Stäubchen dieses Pulvers unter ein stark vergrößerndes Mikroskop bringen, werden wir es in Dimensionen erblicken, welche sich noch weiter verringern lassen. Mit der Verfeinerung der Instrumente können wir die Verkleinerung immer weiter treiben, allein die Körper auf diese Weise in ihre kleinsten Bestandteile aufzulösen, wird uns nie gelingen.

Es müßte für die Teilbarkeit da eine Grenze geben, wo ein zusammengesetzter Körper nicht anders mehr zu verkleinern wäre, als daß seine Urbestandteile auseinander fielen, daß sich also aus dem Marmor das Calciummetall, der Kohlenstoff und der Sauerstoff endlich sonderten, denn aus diesen Urbestandteilen, Elementen, besteht seine Masse. Auf dem eingeschlagenen mechanischen Wege ist dies aber nicht erreichbar, wir können die kleinsten Teile, aus denen jeder Körper bestehen muß, und die in der Sprache der Wissenschaft Atome, Moleküle genannt werden, nicht gesondert darstellen. In dem Marmor ist ein Atom Calciummetall mit einem Atome Sauerstoff zu Calciumoxyd oder Kalkerde verbunden,

diese aber wieder an Kohlensäure, welche aus einem Atome Kohlenstoff und zwei Atomen Sauerstoff besteht, gekettet. Diese Verbindung heißt kohlensaure Kalkerde und der Marmor besteht aus derselben. Das kleinste Teilchen kohlensaure Kalkerde, welches demnach eine Gruppe von fünf Atomen repräsentiert, nennt man ein Molekül; im Gegensatz zu Atom, dem kleinsten Teilchen der einfachen, nicht weiter zerlegbaren Stoffe. Wir werden im 4. Bande bei Betrachtung der chemischen Vorgänge Gelegenheit finden, darauf näher einzugehen.

Wie die Atome miteinander verbunden sind, können wir, da uns unsre Sinne hierbei im Stich lassen, uns nicht vorstellen. Jedenfalls müssen aber besondere Kräfte thätig sein, welche zwischen den Atomen wirken und diese entweder anziehungsweise mehr oder weniger stark aneinander halten, wie bei den festen und flüssigen Körpern, oder abstoßend die einzelnen Atome voneinander zu entfernen streben, wie es bei den gasartigen Körpern der Fall ist. Diese Kräfte, in ihrer Gesamtheit Molekularkräfte genannt, äußern sich wie gesagt nach der Natur der Körper verschieden. Zeigen sie bei einigen eine solche Energie, daß sich der Trennung der einzelnen Teile ein bedeutender Widerstand entgegensetzt (Diamant, Stahl, Granit, Elfenbein u. s. w.), so sind sie bei andern dagegen sehr schwach (Wasser, Quecksilber), ja in manchen Stoffen haben die kleinsten Teilchen sogar das fortwährende Bestreben, sich voneinander zu entfernen, sich ins Unendliche auszudehnen, und werden daran nur durch die Einwirkung andrer Kräfte gehindert. Die Luft würde in den unendlichen Raum verstieben und nicht als ein 10 Meilen dicker Mantel sich um die Erde lagern, wenn sie nicht von derselben durch die alles verbindende Schwerkraft festgehalten würde. Hieraus ergibt sich die Einteilung der Körper in feste, flüssige und luftförmige. Wir vermögen in vielen Fällen diese Zustände, die Aggregatzustände, ineinander überzuführen und machen davon Anwendung beim Schmelzen der Metalle und beim Guß geformter Gegenstände, beim Destillieren, in den Trockenstuben der Färbereien und Druckereien, wo wir das dem Zeuge anhaftende Wasser als Dampf verjagen. Auf dem flüssigen Wasser schwimmen unsre Schiffe, und die Bewegung der Luft treibt die Flügel der Windmühlen. Den anziehenden Molekularkräften wirkt die Wärme entgegen, sie sucht die Teilchen voneinander zu entfernen, sie vermag daher feste Körper flüssig zu machen, flüssige in den gasförmigen Zustand überzuführen.

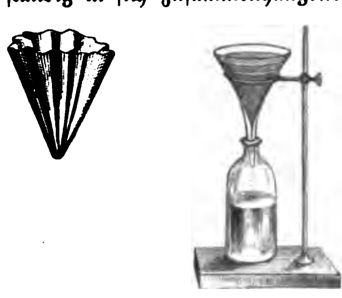

Fig. 6. Alaunkristall im Wachsen.

Die luftförmigen Körper sind gestaltlos. Die flüssigen ändern ihre Form mit den Gefäßen, in denen sie sich befinden, und haben nur eine einzige, durch die Wirkung der Schwere bestimmte Fläche, das ist ihr Spiegel. Derselbe breitet sich stets in einer horizontalen Ebene aus, oder vielmehr in einer Fläche, welche dieselbe Krümmung hat wie die Erdoberfläche. Auf dem weiten Meeresspiegel bemerken wir an dem allmählichen Auftauchen der von fern herankommenden Schiffe diese Rundung, welche an den kleinen Wassermassen auf dem Lande uns nicht auffällt. Die festen Körper besitzen Gestalt und Form, welche ihnen dauernd anhaftet. Erfolgt ihre Bildung in eigentümlicher Weise, wie das Wachsen eines Tieres, das Hervorschießen einer Pflanze aus dem Keime, oder wie die Ausscheidung von Stoffen mit bestimmter chemischer Zusammensetzung aus flüssigen Lösungen, so ist die Form eine gesetzmäßige, die in derselben Art immer wieder aus denselben Bedingungen hervorgeht. Bei der Bildung von Pflanzen und Tieren sind die in Wechselwirkung tretenden Kräfte zu mannigfacher Art, als daß wir aus ihnen das Geheimnis der Gestaltung ohne weiteres herauslesen könnten Einfacher sind die Verhältnisse bei den unorganischen Individuen, die wir Kristalle nennen. Sie haben einen rein geometrischen Grundcharakter, und ihre allmähliche Ausbildung vermag dem Beobachter ein hohes geistiges Vergnügen zu gewähren.

Wer hat sich nicht an den zierlichen Sternen und Eisnadeln schon erfreut, welche ein Schneefall zu Millionen herunterwirft? Wer hat nicht die regelmäßigen Bildungen bewundert, die aus den verschiedenartigen Lösungen der chemischen Fabriken anschießen? Den kleinsten Stoffteilchen scheint fast eine Seele innezuwohnen, welche sie zwingt, in mathematischer Gesetzmäßigkeit sich zu gruppieren und zur Ausbildung eines ringsum von ebenen, glatten Flächen eingeschlossenen Körpers sich aneinander zu legen. Man hat es

ganz in seiner Gewalt, die Vorgänge dabei verfolgen zu können, wenn man sich eine konzentrierte Lösung irgend eines leicht kristallisierenden Salzes (Alaun, Kupfervitriol oder dergleichen) bereitet, und in diese einen an ein Haar oder einen Kokonfaden gebundenen kleinen Kristall desselben Salzes hineinhängt, wie solche sich auf dem Boden des Gefäßes zuerst ausscheiden (s. Fig. 6).

Die festen Körper zeigen unter sich aber wieder, was die innere Anordnung ihrer Teile anbelangt, eine große Verschiedenheit. Keiner von ihnen bildet nämlich eine vollständig in sich zusammenhängende Masse, sondern es finden sich Zwischenräume, die wir mit dem Namen **Poren** bezeichnen. Alle Körper sind **porös**. Ein Häutchen feingeschlagenes Gold, gegen das Licht gehalten, ist nicht undurchsichtig. Infolge seiner Porosität läßt es einzelne Lichtstrahlen durchdringen und erscheint von einer grünlichvioletten Farbe. Elfenbein und Marmor lassen sich färben, das heißt: ihre Poren lassen den aufgelösten Farbstoff eindringen und halten ihn zurück, wenn das Auflösungsmittel daraus verdunstet ist. Augenscheinlicher wird diese allgemeine Eigenschaft der Körper, und häufig angewendet, bei dem Filtrieren (Fig. 7). Zeugstoffe, Kiesel, Kohle, ungeleimtes Papier dienen dazu, um Flüssigkeiten von darin schwimmenden Unreinigkeiten zu trennen, indem sie die ersteren durchsickern lassen, während die festen Körperchen von ihnen zurückgehalten werden. Die Porosität ist eine Eigenschaft der Körper, die aber von ihrem eigentlichen Wesen nicht unbedingt abhängt — denn der Grad der Porosität kann bei demselben Körper ein sehr verschiedener sein, ohne daß dadurch eine wesentliche Verschiedenheit bedingt würde. Anders ist es mit den Zwischenräumen, die man zwischen den einzelnen Atomen und Molekülen annehmen muß; diese müssen wir in derselben Gesetzmäßigkeit bei demselben Körper immer wieder auftretend voraussetzen, ebensowohl bei den gasförmigen als bei den flüssigen und festen, und von ihrer Art hängen die Einflüsse ab, welche Licht, Wärme u. s. w. beim Durchgange durch die Körper erleiden. Die Porosität im gewöhnlichen Sinne des Wortes, jenes erst angeführte mehr oder weniger Zerlöchertsein, hat für die wissenschaftliche Physik kein Interesse — obwohl man immer noch ein Verbrechen zu begehen glaubt, wenn man es unter den allgemeinen Eigenschaften der Körper aufzuführen unterläßt.


Fig. 7. Filter und seine Anwendung zum Filtrieren.

Die **Elastizität** oder **Federkraft** ist ebenfalls eine allen Körpern gemeinsame Eigenschaft. Sie hängt mit der Festigkeit nur in geringem Grade zusammen, denn gerade die luftförmigen Körper gehören zu den am vollkommensten elastischen, während viele feste Körper, wie Blei, nur in unvollkommenem Grade elastisch sind. Bekanntlich äußert sich diese Eigenschaft in dem Bestreben, die einmal innehabende Form beizubehalten und sie wieder einzunehmen, sobald der Zug oder Druck aufhört, welcher eine Änderung bewirkte. Ein ausgedehntes Stück Gummi zieht sich wieder zusammen, sobald seine Spannung aufhört. Ein Gummiball springt in die Höhe, wenn er fallen gelassen wird; die Teilchen, welche zuerst auf den Boden auftreffen, werden gewissermaßen in das Innere hineingetrieben, und die Kugelgestalt erhielt an der Berührungsstelle eine Abplattung. Es läßt sich dies beobachten, wenn man, wie es Fig. 8 zeigt, eine Elfenbeinkugel auf eine etwas angeölte Platte fallen läßt und sie, wenn sie wieder in die Höhe springt, auffängt. Die Berührungsstelle nämlich, wo die Kugel aufgefallen ist, erscheint als eine kleine kreisförmige Fläche; eine solche momentane Abplattung muß die Kugel erfahren haben. Das Bestreben, ihre erst abgerundete Form wieder einzunehmen,

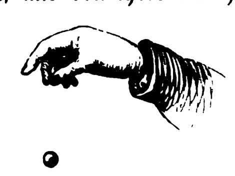


Fig. 8. Wirkung der Elastizität.

schnellte aber die Teilchen sogleich wieder in ihre frühere Lage zurück, und die Kugel flog infolgedessen von der Fläche wieder ab. — Wie es keinen vollkommen unelastischen Körper gibt, so gibt es auch keinen vollkommen elastischen. Material und Form, sowie die Einwirkung äußerer Kräfte (Zug, Druck, Erwärmung) sind auf die Elastizitätsverhältnisse eines Körpers von Einfluß. Man nimmt daher überall, wo man Anwendung von der Elastizität machen will, auf diese Umstände Rücksicht.

Mit der Elastizität und Porosität hängt die Zusammendrückbarkeit, die Kompressibilität, eng zusammen: es ist dies diejenige Eigenschaft, infolge deren die Körper unter gewissen Verhältnissen des Druckes ein geringeres Volumen als gewöhnlich einzunehmen vermögen. Am ausgezeichnetsten in dieser Hinsicht sind die Gase und Dämpfe. Bei ihnen hat die Zusammendrückbarkeit eigentlich keine Grenze, nur gehen einige, wie die Kohlensäure, die schweflige Säure u. s. w., bei einem gewissen Grade des Druckes in den flüssigen Zustand über, den sie wieder aufgeben. wenn der Druck nachläßt.

Kraftwirkung. In den kurzen Betrachtungen, welche wir angestellt haben, wurden die Körper von uns in ruhendem Zustande angenommen. Ganz besondere Erscheinungen aber treten ein, wenn wir dieselben einem äußeren Anstoße folgen und in Bewegung treten sehen.

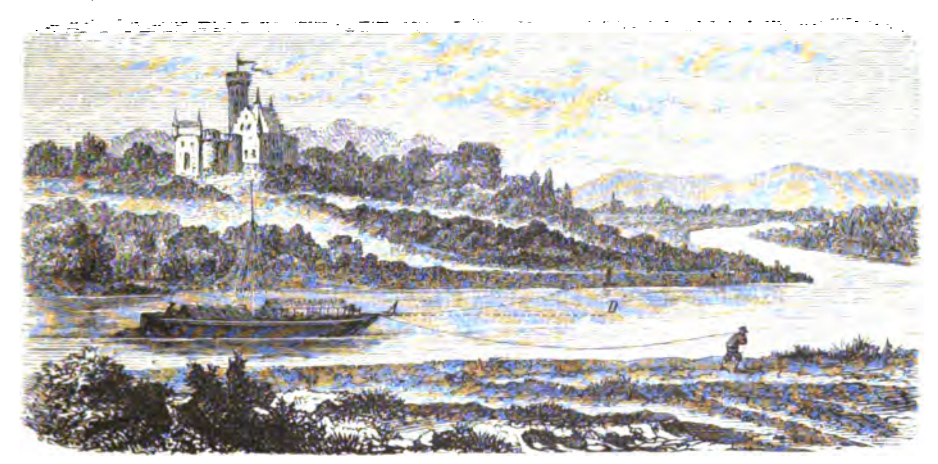


Fig. 9. Wirkungsweise zweier Kräfte auf die Richtung der Bewegung.

Wenn ein schwerbeladener Wagen angezogen werden soll, so erfordert dies bekanntlich viel größere Anstrengung von seiten der Pferde, als ihn weiter zu ziehen, wenn er einmal im Gange ist. Wer jemals in einem Kahn gefahren ist, weiß, daß, wenn derselbe plötzlich an das Land stößt, alle darin Sitzenden nach vorwärts schieben; ein Sprung von einem sich rasch bewegenden Wagen muß ganz besonders geschickt ausgeführt werden, wenn er nicht schlecht ablaufen soll. Ein Stein, aus der Hand geschleudert, eine Flintenkugel, aus dem Rohre geschossen, am Himmelsgewölbe die leuchtenden Gestirne — sie alle bewegen sich dauernd während kürzerer oder längerer Zeit, jedenfalls aber länger, als der Kraftanstoß währte, durch welchen sie in Bewegung gesetzt wurden. Es müßte auch in der That ein besonderer Grund vorhanden sein, welcher einen einmal frei sich bewegenden Körper zwingen soll, diese Bewegung aufzugeben. Dies Bestreben der Körper, in demselben Zustande — sei es Ruhe, wie beim Lastwagen, sei es Bewegung, wie bei den Gestirnen — zu beharren, nennen wir die Trägheit oder das Beharrungsvermögen.

Die Kraft, welche einem Körper mitgeteilt und durch die derselbe in Bewegung gesetzt wird, geht nicht verloren, sondern wird wieder abgegeben, wenn der Körper in Ruhe gerät. Daher die Wirkung des Stoßes, welche durch rollende oder fliegende Körper ausgeübt wird; die mörderische Kanonenkugel vollbringt ihr blutiges Werk nur durch die Abgabe der ihr innewohnenden Kraft, die man deswegen, weil sie, solange der Körper in Bewegung ist, gewissermaßen disponibel, frei darin liegt und jeden Augenblick einem

Widerstande gegenüber in Wirkung treten kann, **lebendige Kraft** nennt. Man hat in Amerika von dieser lebendigen Kraft eine recht belehrende Anwendung gemacht. Um nämlich den Pferden das Anziehen der Wagen zu erleichtern, was vorzüglich bei schwerbeladenen Fuhrwerken, welche häufig halten müssen, von Wichtigkeit ist, hat man Konstruktionen von elastischen Stahlfedern angebracht, so daß dieselben, wenn der Wagen angehalten wird, durch die lebendige Kraft sich spannen, beim Anziehen desselben aber sich auslösen und auf diese Art ihre beim Hemmen aufgenommene Kraft zur Unterstützung der Pferde wieder abgeben.

Bei der lebendigen Kraft kommt zweierlei in Betracht: das Gewicht des Körpers und die Geschwindigkeit, mit welcher er sich bewegt. Ich vermag eine Flintenkugel weiter und mit größerer Geschwindigkeit zu werfen als eine Kanonenkugel, und doch gibt letztere, wenn sie gegen einen Widerstand trifft, eine größere Kraftleistung zu erkennen als die erstere. Der eigentliche Krafteffekt ergibt sich nämlich aus dem Produkte der Masse (Gewicht) und der Geschwindigkeit. Man mißt mechanische Kräfte auf die Weise, daß man untersucht, welches Gewicht (Pfund, Kilogramm) sie in einer bestimmten Geschwindigkeit (1 Fuß oder Meter in der Sekunde) in vertikaler Richtung bewegen können (Fußpfunde, Meterkilogramm, siehe Abschnitt über Maße und Maßmethoden). Die Schwungräder der Dampfmaschinen, welche bestimmt sind, die Kraftüberschüsse des Kolbens, wenn derselbe zu rasch geht, in sich aufzunehmen als lebendige Kraft, und sie wieder abzugeben, wenn er zu langsam geht, welche also auf einen gleichmäßigen Gang hinwirken, sind deshalb auch sehr schwere Eisenmassen. Sie sind gewissermaßen Sparbüchsen der Kraft.

Parallelogramm der Kräfte. Wir haben unter Kraft bisher immer nur die mechanische Kraft verstanden. Sie, deren Wirkung sich in der Bewegung materieller Massen zeigt, ist durch diese am deutlichsten für uns wahrnehmbar, und wir werden auch in Zukunft deshalb bei diesem Begriffe stehen bleiben. Jede Bewegung schließt eine Richtung in sich, und es wird jede Kraft durch die Richtung, in welcher sie wirkt, ferner durch den Sinn der Richtung, ob hinzu oder herzu, und endlich durch ihre Stärke bestimmt. — Wenn auf einen festen Körper eine einzige Kraft wirkt, so bewegt sich derselbe, falls er durch nichts daran gehindert wird, genau in der Richtung dieser Kraft.

Wie aber, wenn mehrere Kräfte gleichzeitig auf ihn einwirken? Es ist nicht schwer, einzusehen, daß, wenn die beiden oder mehrere einwirkende Kräfte alle in derselben Richtung und in demselben Sinne wirken, sie sich gegenseitig verstärken müssen, und zwar so, daß der Körper einem Antriebe folgt, welcher der Summe aller einzelnen Kräfte zusammengenommen gleich ist; dagegen daß, wenn die Kräfte zwar in derselben Richtung, aber einander gerade entgegengesetzt wirken, der Effekt von der Differenz der verschieden wirkenden Kräfte hervorgebracht wird. Anders aber ist es, wenn die Richtungen der gleichzeitig einwirkenden Kräfte unter sich einen Winkel bilden, wie z. B. in Fig. 9, wo zwei Männer von den beiden Ufern aus einen in der Mitte des Flusses schwimmenden Kahn weiterziehen. Der Kahn schwimmt weder in der einen Richtung, noch in der andern, sondern er nimmt seinen Lauf zwischen beiden, gerade als ob er von einer einzigen, in der Richtung AD wirkenden Kraft bewegt würde. Denselben Fall, welcher als Repräsentant aller andern angesehen werden kann, drückt die folgende Fig. 10 aus. A bedeutet darin wieder den Kahn, AB und AC sollen die Zugkräfte der beiden Männer, nach ihrer Richtung sowohl als auch nach dem Verhältnis der gegenseitigen Stärke, bedeuten. Die Linie AD ist dann die Richtung der wirklichen Wirkung, das heißt: der Punkt A bewegt sich unter dem Einfluß der ebengenannten beiden Kräfte AB und AC genau so, als ob auf ihn nur eine einzige, von der Stärke und in der Richtung AD, einwirkte. Der Flug eines Vogels, der in einer einzigen Richtung hin erfolgt, wird doch von zwei Antrieben, den Schlägen der beiden Flügel, bewirkt, deren jeder den Körper nach einer andern Richtung zu bewegen sucht. Der linke Flügel allein würde eine Bewegung nach rechts, der rechte Flügel eine solche nach links bewirken; beide Kräfte vereinigen sich zu einer Gesamtwirkung, deren Richtung in der Mitte liegt.

Die Kraft, welche gewissermaßen als die Ursache einer solchen vereinigten Wirkung angesehen werden kann, nennt man, weil man sie sich als das Resultat jener vorstellt, die **Resultierende** oder deren **Resultante** (Mittelkraft).

Man findet ihre Richtung und Größe sehr leicht; sie wird ausgedrückt durch die Diagonale eines Parallelogramms, dessen Seiten die beiden Kräfte bilden (Fig. 10). Von dieser Konstruktion hat das Gesetz den Namen **Parallelogramm der Kräfte** erhalten. Es umfaßt dasselbe auch alle Fälle, wo drei oder mehr Kräfte gleichzeitig wirken, und man findet hier die Resultierende, indem man sie zunächst für zwei dieser Kräfte sucht, dann die so gefundenen Mittelkräfte selbst miteinander in gleicher Weise kombiniert, bis endlich nur eine einzige Kraft noch übrig bleibt; diese drückt dann die Gesamtstärke und Richtung aller aus. Umgekehrt kann man jede einzeln wirkende Kraft als Resultante zweier andern betrachten; es kommt diese Zerlegung in der wissenschaftlichen Mechanik sehr häufig vor, und wir werden selbst Gelegenheit haben, davon Gebrauch zu machen. Wer hat sich nicht schon die Frage vorgelegt, wenn er an einer durch den Wind bewegten Windmühle vorbeiging, wie es komme, daß die Flügel sich in einem Kreise um die Achse der Welle drehten, als ob sie von seitwärts wirkenden Kräften getrieben würden, während doch der Wind, die einzige Quelle der Kraft, in der Richtung der Wellenachse auf die Flügel aufstieß. Die Antwort ist nur dadurch zu geben, daß man die Kraft des Windes als eine Resultierende betrachtet, die sich, da sie in ihrer eignen Richtung nicht zur Geltung kommen kann, weil die Flügel in dieser Richtung nicht nachgeben, von selbst in zwei Seitenkräfte zerlegt, von denen die eine senkrecht gegen die Achse der Welle gerichtet ist und auf Umdrehung hinwirkt, während die andre in der Richtung der Achse einen bloßen Druck ausübt. Wir werden diesen Fall späterhin noch besonders betrachten.

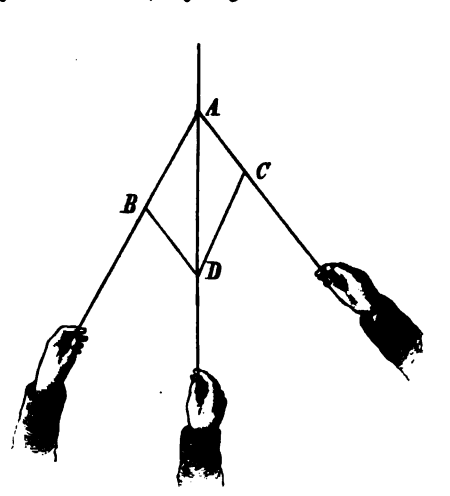


Fig. 10. Parallelogramm der Kräfte.
AB und AC eigentlich wirkende Kräfte (sog. Seitenkräfte), AD die Resultante oder Mittelkraft aus beiden.

Der Fall, daß eine Kraft in ihrer ursprünglichen Richtung und Wirkung zur alleinigen Wirkung gelangt, ist sogar streng genommen in der Natur nicht denkbar. Immer treten andre Kräfte beeinflussend in Mitwirkung. Die allgemeine Anziehung der Masse äußert sich auf sehr verschiedene Weise. Als Adhäsion und Kohäsion Reibung verursachend und dadurch verlangsamend auf jede Bewegung wirkend, übt sie als Schwere bald einen verlangsamenden, bald einen beschleunigenden Einfluß, je nachdem die Kraft dem Erdmittelpunkte zu oder ab gerichtet ist. Eine bei ganz ruhiger Luft genau senkrecht in die Höhe geschossene Kugel kann auf demselben Wege wieder zurückkommen — in dem Aufwärtstreiben zeigt sich die eine Kraft, das Verlangsamen der anfänglichen Geschwindigkeit, und das bald beginnende Umkehren und beschleunigte Herunterfallen ist die Folge der zweiten, stetig wirkenden Kraft, der Schwere. Die gekrümmte Bahn, welche ein in einem Winkel gegen die Horizontale geworfener Stein beschreibt, entsteht durch denselben Einfluß dieser unausgesetzt wirkenden Schwerkraft auf den mittels einmaligen Antriebes in Bewegung gesetzten Körper. Wir können den Verlauf seiner Bahn ganz genau auf dem Papiere nachzeichnen, lediglich unter Anwendung der Konstruktion vom Kräfteparallelogramm. Wie aber auf der Erde die Schwerkraft jede andre Kraftäußerung beeinflußt, so ist es im Weltraum dieselbe Anziehung der Massen aufeinander, durch welche die aus unbekannter Kraftursache in Bewegung gesetzten Weltkörper in Bahnen gehalten werden, deren Richtung in jedem Punkte durch die Resultierende aus den hier zusammenwirkenden Seitenkräften bezeichnet wird.

Eins der interessantesten Beispiele von Kräftezusammensetzung hat die Neuzeit in der lange für wunderbar ausgeschrieenen Erscheinung des **Tischrückens** geliefert. Niemand kann leugnen, daß der Tisch sich wirklich zu bewegen anfängt, wenn eine Anzahl von Menschen ihre Hände in der bekannten Weise eine Zeitlang auf die obere Platte gelegt haben; und die Thatsache, die unter gewöhnlichen Verhältnissen mit derselben Sicherheit beobachtet werden kann, hat zu Anfang der fünfziger Jahre die **ganze** gebildete und ungebildete Welt in Erstaunen und

Aufregung versetzt. Man glaubte einer neuen Kraft auf die Spur gekommen zu sein, einem rätselhaften Movens, welches in den Nerven oder sonst wo sich erzeugen sollte, ähnlich vielleicht wie Elektrizität erregt wird durch Berührung zweier verschiedenartiger Körper, Kupfer und Zink, Kohle und Zink oder dergleichen. Daß man die Kraft nicht auch in andern natürlichen Erscheinungen beobachten konnte, galt für keinen Grund gegen ihr Vorhandensein — hatte man doch auch von dem Galvanismus vor hundert Jahren noch keine Idee gehabt. Unglücklicherweise wurde von vielen die Thatsache der drehenden Tische von vornherein geleugnet, die sich späterhin, selbst mit an dem Tische sitzend, davon überzeugen mußten; selbstverständlich wurde jede natürliche Erklärung, die von ihnen dann vorgebracht, jeder Zweifel, der gegen das Wunderbare erhoben wurde, verlacht — hätten die Zweifler die geheimnisvolle Erscheinung zugeben müssen, so würden sie sich auch noch von der neuen Kraft überzeugen müssen. Man wollte durchaus etwas Neues, bisher Ungeahntes entdeckt haben — und doch war die Sache so einfach, nichts weiter als das Zusammenwirken häufiger, rasch aufeinander folgender, an sich geringer Äußerungen der Muskelkraft. Durch die auf einen Punkt gerichtete Aufmerksamkeit der Beteiligten nämlich verlieren diese allmählich, bei der steifen Haltung ihrer Arme und Hände, die sichere Kontrolle über die Thätigkeit ihrer Muskeln und über die Empfindungen ihrer Nerven. Die ersteren erschlaffen und werden wieder angespannt, dadurch entsteht ein Zittern, welches sich in lauter kleinen Stößen auf das Tischblatt äußert; die letzteren stumpfen ab und verlieren das Gefühl für feine Unterschiede des Druckes. Der Tischrücker meint die Hand ganz leise aufgelegt zu haben, während sie in der That mit großer Wucht auf dem Tische lastet und die kleinen Stöße des Zitterns noch durch einen Druck, der vom Körper abwärts gerichtet ist, in ihrer Wirkung verstärkt werden. Es addiert sich hieraus für jeden der Beteiligten eine ähnliche Wirkung wie bei dem kleinen Kinde, welches durch fortgesetztes Anstoßen allmählich eine große Glocke in Schwingungen zu setzen vermag, alle jene geringen Kräfte vereinigen sich zu einer einzigen Resultierenden, welche, da sie in fast allen Fällen außerhalb des Schwerpunktes des Tisches zum Angriff gelangen wird, eine drehende Bewegung hervorbringt. Ähnliche Erscheinungen treten bei der Wünschelrute auf, deren Spiel schon häufig selbst Vorurteilsfreie getäuscht hat.

Die eigentümliche Ursache derartiger Kraftäußerung liegt nicht so offen am Tage, und da nun derartige seltsame Phänomene besonders in den Händen solcher glücken, welche, leicht erregbaren Temperaments, die ruhige Beherrschung ihrer Sinne unter den Eindrücken der Phantasie und Erwartung bald, wenigstens in gewissem Grade, verlieren, während der kalte, nüchterne Mensch, der jeden Augenblick Herr seines Willens und seiner Organe bleibt, vergeblich an ihre Pforte klopft; so hat sich unter jenen eine ganz besondere Lehre von der Sensibilität gebildet, welche nichts andres ist als das Evangelium der Hysterie, Dummheit und Schwächlichkeit; Od und Psychographie, Geisterklopfen und Tischrücken und was noch dazu gehört, sind die ergötzlichen Überschriften seiner einzelnen Kapitel.





Mit welchem Maß du missest,
mußt du geben.
Willst du ein ganzes Herz —
so gib ein ganzes Leben.

Rückert.

Das Metermaßsystem.

Alles in der Natur beruht auf Maß und Zahl. Die Maße der Alten. Ägyptische, jüdische, griechische, römische Maße. Wert genauer Maßmethoden. Erweiterter Verkehr verlangt ein internationales Maß. Maßeinheit und Maßsystem. Willkürliche und natürliche Maßsysteme. Geschichte des Metermaßsystems. Die Gradmessungen. Benutzung der daraus gewonnenen Resultate zur Wahl der Einheit. Einteilung und Bezeichnung. Einwände gegen das Metermaßsystem als Weltmaß. Widerlegung derselben. Vergleichung mit andern Maßen. Maß der Kraft.

In dem Haushalt der Natur besteht eine Ordnung, die eigentlich schon nicht mehr bloße Ordnung genannt werden kann; denn es ist keine Wahl und Absichtlichkeit in ihr, welche man bewundernd anerkennt, weil sie der Möglichkeit des Falschen ausgesetzt war, sondern eine eherne Gesetzmäßigkeit regelt das Ganze und nichts fällt aus diesem Gesetze heraus.

Das geringste Stäubchen empfängt und gibt aus an Kraft und Stoff in ununterbrochenem Wechsel; von allen Seiten wirken Kräfte auf dasselbe, von allen Seiten hat es solchergestalt fortwährende Zuflüsse, aber ebenso äußert es sich auch nach allen Richtungen hin fortwährend, sei es, daß es Wärme abgibt, Licht oder Elektrizität, oder daß es durch seine eigne Bewegung die Bewegung andrer Stoffteilchen beeinflußt, oder durch chemische Zersetzung Verluste an der eignen Masse erleidet. — So winzig auch das Stäubchen sein mag, es unterhält einen Umsatz, gegen den das Wechselgeschäft der größten Bank ein Kinderspiel ist.

Und die Bilanz stimmt — auf Heller und Pfennig können wir nicht sagen, aber sie stimmt auf Welle und Atom, das wissen wir aus dem Gesetz von der Erhaltung der Kraft.

Ehe man den vollen Einblick in diese Ökonomie der Natur gewonnen hatte, wußte man zwar, daß alle natürlichen Vorgänge nach Zahl, Maß und Gewicht geordnet seien — aber diese Erkenntnis ist doch nicht so alt, wie es scheinen möchte, wenn man an den Spruch Mosis denkt. Denn sie reicht in ihrer Begründung nicht viel weiter zurück als unser Jahrhundert. Wie fruchtbar jedoch sie in der kurzen Zeit schon gewesen ist, das beweist der Aufschwung, den alle Wissenschaften, die sich mit der Erforschung der Natur beschäftigen, und alle Künste der Technik und Industrie, welche von jenen abhängen, gewonnen haben: — „Zahlen beweisen".

Seit wir alle unsre Untersuchungen auf Maße zurückführen, dürfen wir ihnen erst Gültigkeit zugestehen. Mit der Anwendung des Maßes hört das Schätzen, Meinen und Deuten auf. Das Maß ist ein unerbittlich strenger, aber ein treuer Freund. Denn er allein führt, richtig gehandhabt, zur rechten Würdigung, auf der doch alles beruht.

Wir messen die Quantitäten der verschiedenen Stoffe, welche wir zu chemischen Verbindungen miteinander zusammenbringen wollen, und daß wir genau wissen, in welchen Maßverhältnissen sie stets miteinander zusammentreten, ist unser großer Vorteil, denn wir ersparen dadurch auch den geringsten Materialverlust. Wir messen die Geschwindigkeit des Lichtes, die Schnelligkeit, mit der sich die Elektrizität fortpflanzt, ja sogar die Größe der Ätherwellen, deren Schwingungen die Lichterscheinungen hervorbringen und deren größte noch nicht den tausendsten Teil eines Millimeters beträgt. Wir messen die Anzahl der Schwingungen, welche den verschiedenen Tönen zukommen; die Stärke des Erdmagnetismus messen wir, der wie eine ununterbrochene Nervenerregung hin und her schwankt, in ungemein schwachen Schwankungen freilich, welche nicht im stande sind, die Nadel des Kompasses zu beeinflussen; aber die Wissenschaft hat Maßmethoden gefunden, selbst diese unendlich feinen Änderungen nachzuweisen und ihrer Größe nach zu bestimmen.

Und wo sich in der Natur eine Kraftäußerung zeigt, die Physik ruht nicht, solange als jener nicht eine Seite abgewonnen worden ist, an welche sich der Maßstab legen läßt.

„Das mag für die Wissenschaft selbst sehr interessant sein" — höre ich sagen — „für das praktische Leben aber haben dergleichen subtile Unternehmungen wohl nur einen geringen Nutzen." — Mit nichten. Und um den Einwand gar nicht aufkommen zu lassen, habe ich an die Spitze die Verfahren der Chemie als Beispiel gestellt, die doch wohl direkt genug in das praktische Leben eingreifen.

Aber auch die feinsten physikalischen Unternehmungen, die nur auf Aufdeckung der quantitativen Verhältnisse gerichtet sind, erweisen sich oft ganz unmittelbar von den segensreichsten materiellen Folgen. Es kommt sehr viel darauf an, zu wissen, wie groß die Brechbarkeit eines Lichtstrahles, das heißt wie groß seine Wellenlänge ist, denn es ist dieselbe das einzige untrügliche Mittel, um die Eigenschaften der Gläser genau kennen zu lernen, auf deren richtiger Verwendung die ganze Herstellung optischer Instrumente beruht. Jedes Stück Glas, aus welchem eine Linse für ein Fernrohr, ein Prisma für ein Spektroskop oder sonst ein Teil eines guten optischen Apparates hergestellt werden soll, wird durch jenes Mittel vorerst auf seine Leistungsfähigkeit geprüft und danach die geeignete Form ihm gegeben.

Ob Zucker oder gewisse andre Stoffe in einer Lösung enthalten sind und wie viel, zeigt ein Blick auf die Winkelablenkung, die ein Lichtstrahl von gewisser Brechbarkeit erfährt, wenn er durch eine Schicht jener Flüssigkeit gegangen ist. Auf andre Weise würde man stundenlang zu arbeiten haben, um die Frage zu erledigen, die sich jetzt fast augenblicklich beantwortet. In der Raschheit des Aufschlusses hat aber die Rübenzuckerfabrikation eine ganz wesentliche Unterstützung. Wir brauchen gar nicht an die Spektralanalyse zu erinnern, welche nicht nur sofort eine ganz große Zahl von Stoffen in einer Verbindung nachzuweisen vermag, sondern auch die Entdeckung vorher unbekannter Stoffe unsrer Erde herbeigeführt hat, durch nichts weiter als durch genaueste Prüfung der bei der Verbrennung von den Körpern ausgehenden Lichtstrahlen auf ihre Brechbarkeit oder auf ihre Wellenlänge; und können uns ersparen, nach weiteren Beispielen aus dem Gebiete der Physik oder Chemie zu suchen. Die folgenden Kapitel dieses Bandes werden dieselben in überreicher Zahl liefern.

Bei nur einiger Kenntnis wird jedem einleuchten, daß Maß und Messen die Grundlage der Naturforschung ist, und daß die Maßmethoden derselben von Tag zu Tag Verfeinerungen und Vervollkommnungen erfahren, welche, nachdem die Wellen des Äthers gemessen worden sind, auch noch dahin führen werden, die Dimensionen der Atome zu messen.

Die Frage nach Maß und Maßmethoden ist aber nicht bloß für die exakten Wissenschaften von höchstem Wert — genau ebenso für das bürgerliche Leben. Und diese Wahrheit, welche aus den einfachsten Beziehungen der Völker zu einander sich schon ergibt, beim ersten Tauschversuche sich bemerklich macht, hat frühzeitig auf die Ausbildung von Zahl- und Maßsystemen hingearbeitet. Selbstverständlich genügten in den ersten Zeiten Grade der Genauigkeit, mit denen wir uns jetzt auch im gewöhnlichsten Verkehr nicht mehr begnügen. Alle Güter und ganz besonders die Zeit haben einen höheren Wert erhalten, der auch das geringste Teilchen nicht mehr vernachlässigen läßt.

Maße der Alten. Wenn wir die Maße geschichtlich betrachten, so fallen alle diejenigen bewundernswürdigen Meßmethoden, die wir zur Lösung physikalischer Fragen jetzt in Gebrauch sehen, in früheren Zeiten hinweg oder sind vielmehr noch nicht vorhanden. Ihre Erfindung ist ziemlich neuen Datums.

Die Alten kannten zwar Linien-, Flächen- und Körpermaße, sie kannten das absolute und spezifische Gewicht der Körper und benutzten die Bestimmung desselben; sie hatten Methoden, die Zeit zu bestimmen und Winkel zu messen, im Grunde also alle diejenigen Gebiete, auf denen Maße überhaupt zur Anwendung kommen; allein die Anwendung selbst ermangelte der Genauigkeit, die uns heute zu Gebote steht. Der Umstand, der beim Lesen alter Schriftsteller auffällig ist, daß alle Maßangaben fast nur in runden Zahlen gemacht werden, läßt vermuten, daß auch in der Festsetzung der Maße selbst keine große Gewissenhaftigkeit geherrscht haben mag. Und wenn es jetzt mit großen Schwierigkeiten verbunden ist, aus den sich oft widersprechenden Angaben genauere Vorstellungen von der Größe der alten Maße sich zu machen, so liegt das eben daran, daß mit demselben Namen mehr oder weniger verschiedene Maßgrößen bezeichnet worden sind.

Es ist ganz natürlich, daß wir Maße und Meßmethoden bei dem alten Kulturvolk der Ägypter zuerst in ausgedehntem Gebrauche sehen, um so mehr, als die reichen Kenntnisse, über welche die Bildung der Ägypter verfügte, ganz besonders der Naturkunde und den verwandten Wissenschaften angehörten und die Herstellung großartiger Werke der Baukunst eine sorgfältigere Anwendung der Maße zur Vorbedingung machte. Indes ist es wohl zu viel behauptet, wenn man den Ägyptern zuschreibt, daß sie ihre Maße von den natürlichen Dimensionen der Erde abgeleitet, mithin dasselbe schon vor 3500 Jahren gefühlt hätten, was in unsrer Zeit auf die Umgestaltung der Maße einen so großen Einfluß ausgeübt hat: die Absicht nämlich, ein sogenanntes natürliches Maßsystem zu begründen.

Man stützt die Ansicht, daß das Normalmaß der Ägypter von dem Umfange der Erde abgeleitet worden sei, darauf, daß angeblich die Seite der Basis der großen Pyramide von Memphis 500mal genommen; die Elle des Nilometers (des Nilmessers), auch heilige Elle genannt, 200000mal genommen, die Elle des Stadiums zu Laodicea 500mal genommen genau die Länge eines Grades der Erde haben soll. Dies und eine Menge andrer Belegstellen aus den alten Schriftstellern führt man an, um nachzuweisen, daß die Ägypter schon eine Gradmessung ausgeführt hätten, durch dieselbe sehr genau mit den Dimensionen unsrer Erde vertraut worden seien und daraus ihr Maßsystem abgeleitet hätten. Die Annahme einer solchen Gradmessung, welche von Eratosthenes zwischen Syene und Alexandrien ausgeführt worden sein soll, ist aber sehr unsicher. Überhaupt dürfen wir uns, wenn wir den heutigen Stand der Wissenschaften im Auge haben, von den mathematischen Kenntnissen der alten Ägypter keine zu großen Vorstellungen machen. Wir trauen in dieser Beziehung allen alten Kulturvölkern wahrscheinlich zu viel zu, und diese übertriebene Wertschätzung wird leicht genährt durch die Begierde der Altertumsforscher nach überraschenden Entdeckungen, welche gern tiefe Beziehungen da findet, wo oft nur der Zufall sein Spiel getrieben haben mag.

Die ägyptischen Längenmaße waren von den Dimensionen der menschlichen Gestalt abgeleitet. Die mittlere Länge des Menschen (die Orgyie = $1{,}_{85}$ m) wurde in vier Teile geteilt, deren einer Elle genannt wurde. Der sechste Teil der Orgyie war der Fuß.

Kleinere Maße waren von der Spannweite (Spithame), der Breite der Hand (Palme) und der Breite des Fingers (Daktylos) abgeleitet. Die Länge des Schilfrohrs (Kalamos) gab die Rute = 10 ägyptische Fuß; 60 Ruten waren ein Stadium u. s. w. Interessante Maßbeziehungen will man auch in den Verhältnissen der Pyramiden gefunden haben.

Zur Festsetzung der Flächengrößen, was in einem Lande, in welchem durch die jährlichen Überschwemmungen alle Grenzmarken verwischt und dadurch häufig wiederkehrende Regulierungen notwendig wurden, eine sehr wichtige Aufgabe des öffentlichen Lebens werden mußte, nahm man ganz natürlich die Quadratur der Längenmaße. Das gebräuchlichste Flächenmaß war die Arura, ein Quadrat von 100 Ellen Seitenlänge. Die Einteilung des Kreises in 360 Grade war den alten Ägyptern schon bekannt.

Genauer als mit den Maßen dieses Volkes sind wir mit den Maßen der Hebräer vertraut, ein Umstand, der in den biblischen Überlieferungen, welche in der Tempelbeschreibung namentlich sehr genaue Maßangaben enthalten, seine Erklärung findet. Die jüdischen Maße scheinen sämtlich ägyptischen Ursprungs zu sein, wiewohl auch angenommen werden kann, daß dieselben natürlichen Größen, welche den Ägyptern die Maßeinheiten geliefert hatten, als sehr nahe liegend ebenfalls von den Juden als Ausgangspunkte angenommen worden seien. Die Tagereise hatte 200 ägyptische Stadien, circa 37000 m; die Meile hatte 1000 Schritt. Es gab zweierlei Fußmaße, den großen legalen Fuß, Seraim, = $0,_{3674}$ m, und den kleinen, Sereth, = $0,_{2771}$ m u. s. w.

Sehr ausgebildet war das Maßsystem bei den Arabern, jener Nation, welche nicht nur mit Ägypten, sondern weithin an den Gestaden des Mittelmeeres und nach Asien hin einen ausgebreiteten Handelsverkehr unterhielt. Von der Breite eines Kamelhaares war das kleinste Maß abgenommen worden, dasselbe war nach unserm Maß bei weitem weniger als ein Millimeter, wahrscheinlich sogar weniger als ein halbes Millimeter, und dieser Umstand läßt schon ersehen, daß die Größenbestimmungen der Araber einen hohen Grad der Genauigkeit erreicht haben müssen. Die Dicke von sechs nebeneinander gelegten Gerstenkörnern war ein andres Maß. Sie hatten den Daktylos, die Palme, den Fuß, mehrere Ellen, unter denen namentlich die sogenannte schwarze Elle des Al-Mamum bemerkenswert ist, weil nach ihr die Gradmessung unter diesem Kalifen ausgeführt wurde. Die schwarze Elle hatte 27mal das Maß von 6 Gerstenkörnern = $0,_{5196}$ m. Außerdem hatten die Araber eine ägyptische oder Handelselle, die persische königliche sogenannte große Elle des Heron, Schritt, Rute, Orgyie, und als größeres Maß die Parasange, deren 20 einen ägyptischen Grad ausmachten.

Wie alle Fundamentalbegriffe in den mathematischen und naturalistischen Wissenschaften und den damit zusammenhängenden technischen Branchen, haben die Griechen auch ihre Maße von den Ägyptern erhalten und ihrerseits sie wieder den Römern übergeben. Allerdings sind dieselben während dieser Übertragung und in den darauf folgenden Zeiten eines Gebrauches, der eine mathematische Übereinstimmung mit den Urmaßen nicht erforderte, nicht ohne Änderung geblieben, allein es ist diese mehr eine zufällige, infolge von nachlässiger Handhabung entstandene. Von spezifisch griechischen Maßen ist der Dolichos anzuführen — die Länge des Weges, welchen die wettfahrenden Wagen bei den öffentlichen Spielen zurückzulegen hatten. Nach einigen Schriftstellern hatte derselbe 12, nach andern 20, ja sogar bis 24 Stadien. Der halbe Dolichos, die Entfernung von einem Ende der Rennbahn zum andern, war der Diaulos. Dromos war der Weg, den ein Schiff mit Segeln oder Rudern in 24 Stunden zurücklegt — alles Maße, denen ein gewisses ästhetisches Interesse anhaftet, die aber in ihrer Unsicherheit wenig für genaue Bestimmungen geeignet erscheinen. Es gab auch eine ganze Menge Stadien, deren Größe, wenn sie überhaupt eine solche fest bestimmt gehabt haben sollten, jetzt ebenfalls nicht mehr festzusetzen ist, da die verschiedenen Nachrichten darüber einander sehr widersprechen. Die kleineren Maße waren die von den Ägyptern überkommenen.

Gewichtsangaben machten die Griechen nach Talenten, deren kleinstes, das syrische oder ptolemäische, einem Gewicht von ungefähr 7 kg entsprach, das äginetische aber das größte war, denn es scheint ungefähr 45 kg gewogen zu haben. Zwischen beiden inneliegend sind viele andre bekannt. Das Talent wurde eingeteilt in 60 Minen, die Mine in 100 Drachmen.

Den sechsten Teil einer Drachme sollte der Obolos wiegen, die kleine Münze, welche dem Charon als Fährgeld über die schwarzen Fluten des Styx gewährt werden mußte.

Die griechischen Maße sind, wie schon erwähnt, später bei den Römern vielfach in Gebrauch gekommen. Vorher jedoch hatten diese auch eigne Maße, deren Bewahrung mit größerer Sorgfalt gehütet worden zu sein scheint als bei dem leichtlebigen Volke der Hellenen.

Es wurden die Grundmaße aufbewahrt und genaue Kopien davon in Bauwerken eingehauen. Auf dem Kapitol gab es vier solcher Marken des Fußmaßes, aus denen sich durchschnittlich eine Länge von 0,2959 m für den römischen Fuß ergibt. Und damit differieren andre Etalons, die man hier und da gefunden hat, selten um 1 mm, in gut erhaltenem Zustande aber zeigen sie bisweilen Übereinstimmungen bis auf $^1/_{10}$ mm.

Das kleinste römische Längenmaß war der Digitus (0,0185 m); dann folgt die Unica (0,0246 m), die Palma (0,0739 m), der Pes (0,2959 m), der Palmipes (zu 0,3659 m), der Cubitus (0,4434 m), der Passus (1,478 m), die Pertica (2,9562 m). Die römische Meile hatte 500 Ruten (Pertica) und die Tagreise, Iter pedestre, 18$^3/_4$ solcher Meilen. Feldmaß war der Raum, den ein Joch Ochsen in einem Tage umpflügen konnte, Jugerum. Fruchtmaße und Flüssigkeitsmaße waren genau bestimmt, zu den ersteren war der Scheffel (modius) die Grundlage, zu den letzteren die Amphora, deren Inhalt genau einen römischen Kubikfuß betrug. — Das römische Gewichtssystem hatte sich bis vor kurzem noch in unsern Apothekergewichten erhalten. Das Pfund (libra) wurde in 12 Unzen (uncia), diese in Skrupel (scrupulum) und weiterhin in Grane (granum = Korn) eingeteilt.

Infolge der reichsgesetzlichen Einführung des metrischen Systems ist das alte Apothekergewicht im ganzen Deutschen Reiche beseitigt und das Grammsystem mit der Einführung der allgemeinen deutschen Pharmakopöe zum Medizinalgewicht erklärt worden. In Frankreich bestand dasselbe übrigens schon seit 1840.

Wenn uns die Maße der alten Kulturvölker, der Ägypter, Juden, Griechen und Römer ganz besonders interessieren, so ist dies natürlich, denn unsre moderne Bildung hat sich aus der Erbschaft, die uns von jenen überkommen ist, entwickelt, und die im Altertum gebräuchlichen Anschauungen haben ihre Wirkung auf uns auch heute noch nicht verloren. Ein bei weitem geringeres Interesse würde es haben, in gleicher Weise die Maße der Chinesen, Azteken oder die Methoden ganz unentwickelter Völkerschaften zu betrachten, die ohne innere Beziehung zu unsrer Kultur stehen, und bei denen wir nur dasjenige aufs neue konstatieren könnten, was aus den bisher aufgeführten Thatsachen auch schon hervorgeht, daß nämlich das Bedürfnis nach gewissen Maßeinheiten zuerst und naturgemäß nach solchen Größen greift, welche die Natur immer in denselben Dimensionen hervorbringt und welche dem Menschen jederzeit zur Hand sind, so daß er sie zur Vergleichung leicht heranziehen kann. Derartige Größen sind vor allen die menschliche Hand, der Fuß, die Länge des Armes, die Weite eines Schrittes, und wir finden sie deshalb überall als erste Maßeinheiten für Längenbestimmungen in Gebrauch.

Die Völker brauchen den Fuß als Maß nicht voneinander zu entlehnen; es ist natürlich, daß sie von selbst darauf verfallen, nach ihm zu messen. Die alten Deutschen werden das ebenso gemacht haben, wie es die Ägypter gemacht und die Stämme im Innern Afrikas heute noch thun, und nach der Natur der zu messenden Gegenstände werden sich überall auch die verschiedenen Formen der Maße als Linien-, Flächen-, Körpermaße, Maße für feste und flüssige Körper, sowie die Gewichte, selbständig herausgebildet haben.

Eine besondere, für die Wissenschaft sehr wichtige Meßmethode, die Winkelmessung, von deren Resultaten die Astronomie bis in die neueste Zeit hauptsächlich gelebt hat, können wir außer Berücksichtigung lassen, weil ihr einfaches System, das schon den alten Ägyptern bekannt war, im Laufe der Zeiten keine Änderung erfahren hat; ebenso übergehen wir hier die Messung der Zeitgrößen, da dieselbe bei der Geschichte der Uhren zweckmäßiger behandelt wird.

Maßsystem. Weil sich das Maßwesen nur mit der Quantität der Dinge beschäftigt, welche über die ganze Erde keine verschiedene Auffassung erfahren kann, denn 5 ist bei den Polarbewohnern ebensoviel — nicht mehr und nicht weniger — als es bei den Bewohnern der Tropen ist; so sollte auch über die ganze Erde ein einziges Maß herrschen, allen sofort und ohne Übersetzung verständlich.

Daß dies nicht der Fall ist, ist ein großer wirtschaftlicher Nachteil, denn abgesehen von den Betrügereien, zu denen verschiedene Maße Veranlassung geben, ist damit eine Erschwerung des Verkehrs, eine Vergeudung der Zeit verbunden, welche keinen Sinn hat und den Wohlstand der Welt um ungeheure Ziffern vermindert. Aber es ist einmal so und wir begreifen sehr leicht, wie es gekommen ist. Es handelt sich jetzt nur darum, den traurigen Zustand nach Möglichkeit zu beseitigen, wozu jeder beitragen kann und jeder beitragen wird, der sich über die hier in Betracht kommenden Grundbegriffe klar geworden ist.

Bei jedem Maße haben wir es mit zweierlei zu thun — das eine und erste Mal mit der Wahl der Einheit, die dem Ganzen zu Grunde liegt, und das andre Mal mit der Einteilung dieser Einheit behufs ihrer Brauchbarmachung zur Bestimmung der vorkommenden Größen, also mit dem eigentlichen Maßsystem.

Man hat früher, wie wir gesehen haben, selbst in den zivilisierten Staaten die Wahl der Einheit für etwas ganz Unwesentliches und willkürlich zu Bestimmendes gehalten und bald dem Fuße des gerade regierenden Landesherrn, bald irgend einer andern überlieferten oder neugeschaffenen Größe die Ehre angethan, nach ihr und durch sie die Maßbegriffe auszudrücken. Bei allen solchen willkürlichen Annahmen war aber eine allmähliche Korruption des Maßes ganz unausbleiblich; denn da als Einheit immer eine materielle Größe aufgestellt werden mußte, entweder eine Stange von gewisser Länge oder ein Stück Metall von gewisser Schwere, auf welche alle danach zu messenden Größen zurückbezogen werden mußten, so konnte, wenn einmal jene ursprüngliche Maßgröße verloren gegangen war, auf keine Weise der wahre Wert derselben mit voller Sicherheit wieder bestimmt werden.

Alle durch mechanische Vergleichung von ihr abgeleiteten Maße waren ja nur so weit richtig, als die menschliche Geschicklichkeit sowie die Sicherheit der bei der Justierung (genauen Zurichtung von Maßen und Gewichten) angewandten Instrumente und Methoden reichten. Eine richtige Vorstellung von der wirklichen Bedeutung jenes Maßes war aber aus den sekundären Maßen gar nicht zu erlangen, denn selbst bei der gewissenhaftesten Vergleichung wird man in kleine Beobachtungsfehler verfallen. Solange die Einheit vorhanden, hat dies nicht viel zu sagen; denn man kann bei der fortschreitenden Verbesserung der Instrumente die begangenen Fehler immer genauer berichtigen; ist jene aber verloren, so kann man nie mehr darüber Kenntnis erlangen, wie groß die begangenen Irrtümer gewesen sind.

Zum Beispiel: Das ursprüngliche Gewicht, das schwere Stück Metall, welches die Kölnische Mark vorstellte, ist verloren gegangen. Auf dem Rathause zu Köln gibt es zwar noch mehrere, kunstvoll ausgeführte, kostbar vergoldete sogenannte „heilige Gewichte“, die als Grundgewichte der deutschen Silberwährung galten. Indessen, welches von ihnen das richtige ist, vermag niemand zu entscheiden; ob überhaupt eines mit der wahren Mark übereinstimmt, oder ob, wie sie alle untereinander verschieden sind, so auch alle in ihrer Schwere von ihrem Normalgewichte abweichen — diese Fragen zu beantworten und uns damit Auskunft über die wirkliche Größe jenes für den gesamten deutschen Verkehr so höchst wichtigen Maßes zu geben, vermag kein Mensch. Ist das in Deutschland in der alten Reichsstadt geschehen, wer wird verlangen, daß man jetzt noch genau sagen soll, wie groß der spartanische Fuß oder die arabische Meile gewesen ist!

Alle alten Maßangaben haben daher für uns auch nur einen geringen, und zwar ganz relativen Wert, insofern sie Vergleichungen unter sich zulassen; in ihre wahren Verhältnisse ist uns der Einblick versagt.

Man hat ferner die verschiedenen Maßgebiete: Längenmaße, Flächen- und Körpermaße, Gewichte u. s. w., voneinander ganz unabhängig gehalten, für jedes eine besondere Einheit gewählt, die in keiner ersichtlichen Beziehung zu den übrigen stand. Wieviel ein Scheffel irgend eines Körpers Gewicht repräsentierte, war ganz gleichgültig; weder waren die Verhältnisse einfache noch überhaupt bestimmte. Der Nachteil liegt auf der Hand. Die Zahl der Einheiten und Systeme wurde dadurch unnötig vermehrt.

Müssen wir aus diesen Gründen die willkürliche Wahl der Maßeinheit verdammen, so ist ebenso eine Verurteilung der alten Maßsysteme auszusprechen. Ja, was man Maßsysteme nennen könnte, verdient kaum diesen Namen. Die Benennungen der einzelnen Maßgrößen standen weder in Beziehung unter sich, noch auch bestand irgend ein sicherer

Zusammenhang zwischen je einer von ihnen und dem dadurch bezeichneten Werte. Manche Maße dienten nur ganz speziellen Zwecken. Die Gewichtsmaße waren andre, wenn sie zur Verwiegung von Medikamenten und Droguen gebraucht wurden, andre im Fleischhandel, andre im Großhandel, andre für Gold und Juwelen — ihre Gruppierung in Ober- und Unterabteilungen zwecklos und ohne alles Prinzip.

Es ist beschämend, einzugestehen, daß die Chinesen und Japanesen, über deren Zöpfe wir uns genugsam lustig gemacht haben, unsern Altvordern in Beziehung auf die Maßfrage ganz entschieden voranstanden. Nicht nur, daß ihr Maßsystem sich streng an die einmal angenommene Dezimalzählung anschließt, während bei uns die Viertel-, Achtel- und Zwölftelteilung nach unten, nach obenhin aber ganz willkürlich angenommene Gruppen beliebt wurden, so bemerkt man auch, daß zwischen den verschiedenen Maßarten, Längen-, Flächen- und Hohlmaßen, den Gewichten u. s. w., sowie namentlich zwischen Gewichts- und Münzgrößen bei den Chinesen ein inniger Zusammenhang besteht.

Indes wollen wir wegen dieser Unterlassungssünden mit unsern Vorfahren nicht noch im Grabe rechten. Der innige Zusammenhang der physikalischen Kräfte, welchen uns die Forschungen der letzten Zeit klargelegt haben, waren ihnen noch verschleiert, die Thätigkeit des Einzelnen sowohl wie staatliche Unternehmungen bezogen sich auf enge, nächstliegende Kreise ohne jede Beziehung auf das Allgemeine — unsre deutschen Vaterländer waren ja nicht so groß wie China. Der Verkehr hatte eine beschränkte Ausdehnung, die durch fehlerhafte Einrichtung bedingte Unbequemlichkeit fiel also nicht so schwer ins Gewicht.

Sobald der Handel aber anfing, ein internationaler zu werden, der sich nicht mehr auf Grenzverkehr und einzelne Meßplätze beschränkte, mußten sich auch Wünsche laut machen, welche auf eine Reform und Einigung der Maß-, Gewichts- und Geldverhältnisse hinausliefen, und es sind zu wiederholten Malen langdauernde Beratungen gepflogen worden, die freilich immer daran scheiterten, daß jeder der beteiligten Staaten sein Maß für das vortrefflichste hielt, und zwar im Prinzip für eine allgemeine Einigung war, in der Praxis aber nur dann, wenn dieselbe ihm seine gewöhnten Maße möglichst unverkümmert ließ. Daher jene endlosen Konferenzen, jene immer wiederholten Vorschläge, Feilschungen und Verschleppungen, die, wenn sie endlich einmal eine Änderung erzielten, genau darauf hinausliefen, wohin die bekannte Prozedur des Mitleidigen führt, der seinem Hunde — damit es nicht so weh auf einmal thut — den Schwanz stückchenweise abschneidet: auf endlose Unbequemlichkeiten, Irrtümer, Ärgernisse u. s. w.

Während der Ausstellung in Paris 1867 wurde innerhalb einer besonders dazu niedergesetzten Kommission aus Vertretern aller Nationen die Frage einer allgemeinen Maß- und Münzeinigung ganz ausführlich wieder erörtert. Im Mittelpunkte des Ausstellungsgebäudes, da, wo sämtliche Straßen aus den Ausstellungsgebieten aller Länder der Erde zusammenliefen, erhob sich ein Pavillon, in welchem die verschiedenen Maße und Münzen der betreffenden Länder, erstere in genauen Etalons, vereinigt waren. Hier hätte sich sichtlich aussprechen müssen, wie die Welt in dem einen Punkte, der doch keine verschiedene Deutung zuläßt, auch eines Herzens und eines Sinnes sei, in den Maß- und Münzbegriffen, den Grundlagen des ganzen Verkehrs. Ein einziges Maß — eine einzige Münze hätte hier die vernünftigste Übereinstimmung ausdrücken müssen. Leider war die Ausstellung in dem runden tempelartigen Bau eine nicht so einfache und doch auch bei aller ihrer Mannigfaltigkeit noch lange keine erschöpfende. Deutschland allein hätte den Pavillon auszufüllen vermocht, wenn es die vielen Hunderte verschiedener Ellen und Fuße in Maßstäben ausgestellt hätte, die in den einzelnen Landschaften damals noch in Gebrauch oder wenigstens noch nicht abgeschafft und noch nicht durch ein einheitliches Maß ersetzt waren.

Unter sich gleiches Maß zeigten Frankreich, Italien, Spanien, Portugal, Belgien, Holland, Chili, Peru, Neugranada, Bolivia, Venezuela, sowie Französisch- und Holländisch-Guinea, in denen das französische Metermaßsystem eingeführt ist, wenn sich auch daneben noch die alten Maße zeitweilig erhalten haben mögen.

Die übrigen Staaten, darunter England, Deutschland, Rußland, hatten noch jedes sein eigentümliches Maß. Doch wurde in den Beratungen der Kommission das Bedürfnis einer allseitigen Einigung erkannt, das Metermaßsystem als das geeignetste für die

allgemeine Annahme erklärt und seine Einführung empfohlen. Dieser Empfehlung sind dann das Deutsche Reich (im Jahre 1872) und später Österreich-Ungarn, auch Luxemburg, nicht minder die Türkei und Ägypten, Griechenland, Brasilien, Mexiko, Ecuador sowie einige andre kleinere Staaten gefolgt. In der Schweiz hat man wenigstens durch feste Bestimmung des alten Fußmaßes (drei Schweizer Fuß gleich einem Meter) sich in der Sache dem Metersystem angeschlossen.

Solange sich freilich England der allgemeinen Forderung verschließt, steht ihrer Befriedigung ein sehr wesentliches Hindernis noch im Wege; indessen dürften andre Länder sich nicht abhalten lassen, dasjenige schon jetzt zu ergreifen, was doch allein nur Aussicht auf allgemeine Annahme hat.

Um dies zu begründen, sehen wir zu, welche Gesichtspunkte im vollen Sinne des Wortes hier „maßgebend“ sind. Es lassen sich dann für ein internationales Maßsystem folgende Bedingungen feststellen:

Vor allen Dingen muß erstens die Einheit eine unveränderliche sein; sie möchte sein eine solche, welche sich durch bekannte, möglichst einfache Handhabungen zu jeder Zeit aus gewissen, in der Natur vorkommenden unveränderlichen Dimensionen ableiten läßt, und in diesem Falle endlich eine solche, an welcher womöglich alle Bewohner der Erde ein gleiches Interesse haben. Selbstverständlich ist, daß sie möglichst bequem in der Handhabung sein muß, ebenso wie die von ihr abgeleiteten Maße.

Das auf die Einheit sich stützende System muß in seinen Ober- und Unterabteilungen ausschließlich der Dezimalteilung folgen, auf den verschiedenen Maßgebieten: Längen-, Flächen-, Körpermaße u. s. w., einen natürlichen, einfachen und leicht übersichtlichen Zusammenhang zeigen, und die Bezeichnung muß eine systematisch wechselseitige sein, so daß durch den Namen der einzelnen Maßgrößen das Verhältnis zwischen ihnen ausgedrückt wird, und endlich, es müssen an ihr ebenfalls alle Länder ein möglichst gleiches Interesse haben.

Darauf, daß die Maßeinheit eine sogenannte natürliche, d. h. eine solche sei, welche zu jeder Zeit aus gewissen in der Natur vorhandenen und unveränderlichen Dimensionen leicht abgeleitet werden kann, ist aber nicht das große Gewicht zu legen, welches von vielen Seiten darauf gelegt wird. Denn da es nicht den Sinn haben kann, daß eine solche natürliche Dimension selbst als Maßeinheit genommen werden soll, sondern nur eine davon abgeleitete Größe, welche in ihrer Handlichkeit den praktischen Anforderungen entspricht, so daß also nur das Verhältnis zwischen der Größe der Maßeinheit und einer natürlichen unveränderlichen Dimension genau bekannt sein soll, so kann man jede willkürlich gewählte Einheit zu einer natürlichen dadurch machen, daß man eben jenes Verhältnis ganz genau bestimmt. In dieser Weise ist z. B. die englische Yard normiert, und das darauf bezügliche System kann als ein natürliches gelten; denn man hat die Länge des Sekundenpendels zu London genau gemessen, und eine Parlamentsverfügung vom 17. Juni 1824 setzt fest, daß die Länge der Yard zur Länge des Sekundenpendels sich verhalte wie $36 : 39{,}_{13929}$ in der Breite von London, auf den Meeresspiegel und den luftleeren Raum reduziert und bei 62° Fahrenheit gemessen. Ein englischer Kubikzoll destilliertes Wasser von 62° F. (30 engl. Zoll Barometerhöhe) soll nach derselben Bestimmung $252{,}_{458}$ Grains eines Pfundes wiegen, welches 5760 solcher Grains enthält.

Es hat aber die Wahl einer natürlichen und sozusagen neutralen Einheit deswegen sehr viel für sich, weil das Maß, als etwas Internationales, nicht einen lokalen Ausgangspunkt haben soll, an dessen Wahl eine Gegend mehr Interesse als eine andre hat, und der bei der nicht zu ändernden Eitelkeit der Menschen Grund zu Eifersüchtelei werden könnte, die seiner allgemeinen Annahme hindernd im Wege stehen würde.

Es mag also die Einheit wohl eine natürliche, sie muß aber dann unter allen Umständen eine solche sein, an welcher alle Bewohner der Erde ein gleiches Interesse haben.

Dazu eignen sich nur die Dimensionen der Erde selbst, und wenn es nicht angenommen werden darf, daß die alten Ägypter schon ihr Maßsystem auf dieselben gründeten, so werden wir den Ruhm, die großartige Idee zuerst ausgesprochen zu haben, dem Lyoner Astronom Gabriel Mouton nicht vorenthalten dürfen. In seinem 1670 in Lyon erschienenen Werke „Observationes Diametrorum“ schlägt er vor, die Länge des Meridianbogens von einer

Minute unter dem Namen Milliare oder Meile zur Normaleinheit zu machen, welche dann weiter nach dem Dezimalsystem in Centuria, Decuria, Virga, Virgula, Decima, Centesima, Millesima geteilt werden sollte.

Etwas Entsprechendes sehen wir in England ausgeführt: die Meile — Seemeile — wurde hier als der sechzigste Teil eines Äquatorialgrades festgesetzt und nach der Norwoodschen Messung zu 1760 Yard bestimmt, aber das übrige Maßsystem stützt sich nicht darauf, und es hätte deswegen keinen Anspruch erheben können, als ein internationales angenommen zu werden, wenn man auch den Einwurf nicht gelten lassen will, den Kant gegen die Annahme einer Einheit, die sich auf Winkelgrößen stützt, erhob, daß man dann ebenso gut, wie der Erde, jeder Erbse einen Umfang von 21 600 Seemeilen resp. von 5400 geographischen Meilen zuschreiben könnte.

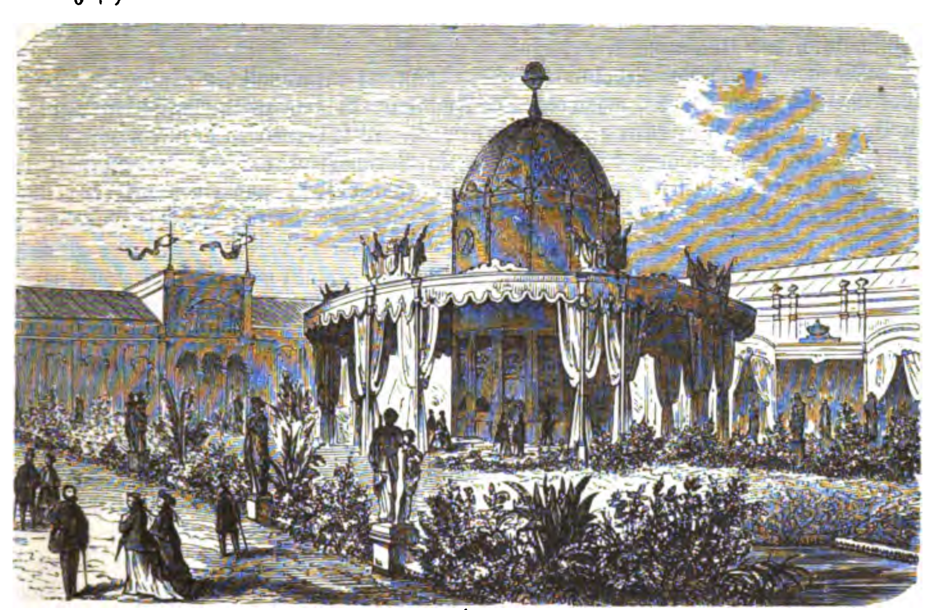


Fig. 12. Maß- und Münzpavillon im Innern des Pariser Ausstellungspalastes (1867).

Die anderseits von den Engländern immer gehegte und von Zeit zu Zeit wieder in den Vordergrund gedrängte Idee, eine besonders merkwürdige Pendellänge zur Grunddimension zu nehmen, ist ebenfalls nicht anzunehmen. Schon Huyghens schlug das Sekundenpendel vor; da dasselbe aber, wie Richter zuerst erfuhr, nicht nur unter verschiedenen Breitengraden eine verschiedene Länge hat, sondern sogar unter gleichen Breiten, je nach der Höhe des Aufhängungspunktes über dem Meere, in seiner Länge variiert, ja selbst die Nähe bedeutender Gebirgsmassen einen, wenn auch nicht bedeutenden, Einfluß auf die Schwingungsdauer ausübt, so ist dasselbe für unsre Zwecke nicht zu gebrauchen; abgesehen davon, daß immer ein einziger Punkt der Erde gewählt werden müßte, an welchem nur ein geringer Teil der ganzen Bevölkerung näheres Interesse hätte, und dann die einmal gewählte Länge eben nur an diesem einen Orte festgestellt werden könnte.

Aus denselben Gründen kann die Fallhöhe während einer gewissen Zeit oder die Barometerhöhe eines bestimmten Ortes (welche Größen beide in Vorschlag gekommen sind) ebensowenig zur Grundlage eines Maßsystems als geeignet angesehen werden.

Das Verdienst, aus den Dimensionen der Erde ein rationelles Maßsystem, das sich zu einem internationalen vollständig eignet, abgeleitet zu haben, gebührt immer den Franzosen, und namentlich hat Laplace bedeutenden Anteil an der Ausführung dieser Idee.

Im Jahre 1789 trugen die Städte Paris, Lyon, Reims, Dünkirchen, Rouen, Rennes, Orleans, St. Quentin, Metz, Chalons u. s. w. auf die Abschaffung der verschiedenen Maße an, die nur zu Mißbrauch und Betrügereien Anlaß gaben. Infolge hiervon

brachte Talleyrand die Angelegenheit vor die Konstituierende Versammlung; am 6. Mai legte de Bonnai seinen Bericht darüber vor, und zwei Tage darauf wurde der Beschluß gefaßt, den König zu bitten, daß er den König von England auffordern möge, dieses Geschäft einer internationalen, wohl zu merken, einer internationalen Maßeinigung durch Kommissarien aus der französischen Akademie und der Königlichen Sozietät in London gemeinschaftlich besorgen zu lassen. Man hatte anfänglich die Idee, die Länge des Sekundenpendels unter dem 45. Breitengrade als Ausgangspunkt zu nehmen und zu ihrer Bestimmung eine wissenschaftlich strenge Untersuchung gemeinschaftlich ausführen zu lassen.

Die Franzosen wollten also nicht ein spezifisch französisches Nationalmaß, sondern — das müssen wir jetzt ganz besonders betonen — sie gingen gleich von Anfang an darauf aus, ein Maß für alle Völker aufzustellen, und in Berücksichtigung der menschlichen Schwäche wollten sie sich des Vorschlagsrechtes so weit begeben, daß sie mit England gemeinschaftlich das Unternehmen auszuführen gedachten.

Die hereinbrechende Revolution änderte nun im ursprünglichen Entwurfe, der am 22. August bestätigt wurde, manches. Die Akademie ernannte zu Kommissarien Laplace, de Borda, Lagrange, Monge und Condorcet. Diese verwarfen in ihrem am 19. März 1791 eingereichten Gutachten das auch wieder in Vorschlag gebrachte Sekundenpendel, weil es eine von einer zweiten notwendigen Größe: der Zeit, und einer willkürlichen: der Einteilung in Sekunden, bedingte Größe sei, und sprachen sich über die Annahme des Meridians aus.

Man solle einen hinlänglich großen Bogen (von Dünkirchen bis Barcelona) messen, hieraus die Länge des Quadranten bestimmen und den zehnmillionsten Teil derselben als Einheit nehmen. Es müsse dann aber sowohl beim Kreise als auch bei dem Normalmaß und den davon abgeleiteten die arithmetische (Dezimal-) Abteilung eingeführt, jede willkürliche dagegen verworfen werden. Auf die so erhaltene Normallänge lasse sich dann leicht eine Basis der Räumlichkeiten und Gewichte gründen, wenn man dazu ein gewisses Maß destilliertes Wasser bei einer bestimmten Temperatur, entweder des Auftaupunktes oder der größten Dichtigkeit, im lufteeren Raume gewogen, nehmen wolle. Durch die angegebene Gradmessung habe man den Vorteil, daß beide Endpunkte unveränderlich und im Spiegel des Meeres gelegen wären. Man solle dann zugleich unter 45 Grad nördlicher Breite die Schwingungen zählen, welche ein Pendel von der Länge des zehnmillionsten Teiles der Länge des Quadranten am Spiegel des Meeres bei 0° Celsius und im luftleeren Raume mache, um diese Länge durch minder zeitraubende Beobachtungen sofort wiederfinden zu können. Übrigens wurde der 45. Grad nicht in bezug auf Frankreich gewählt, sondern bloß deswegen, weil in diesem die mittlere Länge des Pendels mit der mittleren des Gradbogens zusammenfällt, ein Umstand, der völlig nationaler Natur ist.

Dies Gutachten wurde am 26. März 1791 der Nationalversammlung vorgelegt, vier Tage nachher der Vorschlag genehmigt, und der König ermächtigte hierauf die schon vorher von der Akademie ernannten Kommissionen, die zur Ausführung erforderlichen Operationen sogleich anzufangen.

Infolge der Auflösung der Akademie wurden die Arbeiten unterbrochen, indessen durch zwei Gesetze vom 18. Brumaire und 28. Germinal wurden Berthollet, Borda, Brisson, Coulomb, Delambre, Hauy, Lagrange, Laplace, Méchain, Monge, Prony und Vandermonde ernannt, die angefangenen Arbeiten zu beendigen.

Gradmessungen. An dieser Stelle haben wir einen kurzen Blick auf die Geschichte der Gradmessungen zu werfen, deren eine durch die Bestimmungen der Toise von Peru schon vordem für das Maßwesen der wissenschaftlichen Welt von Wichtigkeit geworden war.

Die ersten Versuche einer Bestimmung der Größenverhältnisse der Erde finden wir von den alten Ägyptern schon ausgeführt. Durch Pythagoras oder Aristoteles war die Kugelgestalt der Erde bewiesen, Eratosthenes von Kyrene versuchte sich in ihrer Größenbestimmung, und wenn diesem Weisen auch nicht das Verdienst zugesprochen werden kann, eine wirkliche Gradmessung, d. h. die Längenbestimmung eines astronomisch genau bestimmten Teiles des Meridians, ausgeführt zu haben, so bleibt ihm doch der Ruhm, zur Ausmessung der Erde die richtige Methode gefunden und zuerst angewandt zu haben.

Die erste eigentliche Messung der Erde geschah im 9. Jahrhundert am Arabischen Meerbusen auf Befehl des Kalifen Al-Mamum. Die dieselbe ausführenden Geometer wurden in zwei Parteien geteilt, damit durch die Arbeit der einen die der andern kontrolliert werden könne. Die Werte für die Größe eines Grades — des 360. Teiles eines Kreises — die so erhalten wurden, wichen voneinander ab. Es fand nämlich die eine Expedition die Größe von 46 arabischen Meilen, die andre von 56½.

Leider sind wir nicht im stande, zu entscheiden, wie nahe oder wie entfernt dem wahren Werte diese Angaben waren, da uns die Kenntnis der Länge der arabischen Meile mangelt. Von dieser Zeit an, durch das ganze Mittelalter, hören wir von dergleichen Unternehmungen gar nichts mehr. Das Interesse an den geographischen Wissenschaften war ein sehr geringes, und die allgemeine Wichtigkeit der Lösung solcher Fragen hatte man noch nicht erkannt. Erst 1525, nach der großen Erdumsegelung, gewann dieser Gegenstand wieder allgemeines Interesse.

Die nächste Gradmessung nach der arabischen in der Wüste Singar unternahm der auch als Mathematiker bekannte Fernel, Leibarzt des Königs Heinrich II. Als Resultat ergab sich für die Länge eines Meridiangrades der Wert von 57 070 Toisen, ein Ergebnis, welches fast genau mit den Messungen der neueren Zeit übereinstimmt, bei denen die Benutzung der vollkommensten Instrumente, die gewissenhafteste und scharfsinnigste Berücksichtigung der das Unternehmen beeinflussenden Verhältnisse einander hilfreich die Hand boten. Diese Übereinstimmung aber ist nichts weiter als ein Spiel des Zufalls. Denn Fernel hatte, um die Länge des Bogens zwischen Paris und Amiens, dessen Winkelgröße genau bekannt war, zu bestimmen, kein andres Mittel angewandt, als einfach einen Wagen, in welchem er die zu messende Strecke durchfuhr; aus der Anzahl der Umdrehungen, die während dieser Zeit die Räder gemacht hatten, berechnete er die Länge des zurückgelegten Weges.

Bei einem solchen Verfahren kann von Genauigkeit nicht die Rede sein, und wenn das Resultat trotzdem ein der Wahrheit nahekommendes ist, so kommt dies eben nur daher, daß ein Fehler den andern in seiner Wirkung aufhob.

Im Jahre 1615 führte der Geometer Snellius zwischen Alkmar und Bergen op Zoom in Holland eine Gradmessung aus. Der von ihm gemessene Bogen umfaßt 1° 11′ 30″ und der Wert für einen Grad wurde daraus zu 55021 Toisen berechnet. Interessant ist diese Messung dadurch, daß bei ihr zuerst die Methode der Triangulation angewendet wurde, die eigentlich von Snellius erfunden worden ist.

Auf die andre, sehr mühsame Art, die Länge eines Bogenstückes durch Anwendung der Meßkette, also durch direkte Ausmessung zu finden, führte Norwood die schon erwähnte Messung 1635 zwischen London und York aus, bei der sich die Gradlänge zu 57 424 Toisen herausstellte. Einen davon sehr abweichenden Wert (62 650 Toisen) fand Riccioli, und die Französische Akademie, die hohe Wichtigkeit der Sache ins Auge fassend, beschloß nun, da bei den beträchtlichen Abweichungen, welche alle bisher auf diesem Gebiete ausgeführten Arbeiten noch unter sich zeigten, auf die wahrscheinlich richtige Größe nicht geschlossen werden konnte, eine neue Messung vornehmen zu lassen, für deren Ausführung alle der Wissenschaft zu Gebote stehenden Mittel verwandt werden sollten.

Der damals berühmte Geometer Picard wurde mit der Lösung dieser Aufgabe betraut. Er führte seine Arbeit im Jahre 1670 mit der größten Gewissenhaftigkeit durch, und es verdient diese seine Messung vor allen das größte Zutrauen. Er maß zwischen Amiens und Malvoisine einen Bogen von 1° 28′ 28″ und berechnete daraus die Länge eines Meridiangrades zu 57 060 Toisen.

Nach dieser Angabe berechneten Huyghens und Newton die Größe der Erde, die man immer noch als vollkommene Kugel betrachtete. Als aber Richer die Beobachtung gemacht hatte, daß er, um in Cayenne ein richtiges Sekundenpendel zu haben, das von Paris mitgebrachte um 5/4 Linien verkürzen müsse, und gefunden hatte, daß diese Korrektion nicht allein auf Rechnung der Wärme und der dadurch erfolgten Ausdehnung zu setzen sei, stellte Newton die Behauptung auf, jene Veränderung sei eine Folge der durch die Rotation (Drehung) der Erde erzeugten Zentrifugalkraft (Fliehkraft). Er folgerte ferner hieraus, daß sich demgemäß um den Äquator, wo jene Kraft am größten sei, mehr Erdmasse angehäuft habe

als an den Polen, daß also die Erde nicht eine Kugel sei, sondern eine abgeplattete, orangenähnliche Gestalt haben müsse.

Um die Frage zu entscheiden, wurde eine neue Gradmessung auf Anregung Picards durch die beiden Cassini: Dominique und Jakob, ausgeführt und der durch Paris gehende Meridian in seiner ganzen Länge in Frankreich gemessen. Dabei kam man aber auf das merkwürdige Ergebnis, daß die Grade nach den Polen zu abnehmen sollten. Man fand nämlich aus der von Paris bis an die südliche Grenze des Reiches ausgedehnten Messung (6° 18′ 57″) die Größe eines Grades zu 57097 Toisen, dagegen aus der von Paris bis Dünkirchen 56960 Toisen, woraus also gegen Newtons auf theoretische Gründe gestützte Behauptung hervorzugehen schien, daß die Länge der Erdachse — des Durchmessers durch die Pole — größer sei als die des Äquatorialdurchmessers, der Erde also nicht, um den grobsinnlichen Vergleich weiterzuführen, eine orangenähnliche, sondern eine zitronenähnliche Form zukäme.

Die Gelehrten aller Länder erhoben ihre Stimme, teils für die Newtonsche, teils für die Cassinische Erde. Um diesem mit vieler Heftigkeit unter den Mathematikern geführten Kriege ein Ende zu machen, wurden von der französischen Regierung zwei Gradmessungen in hinlänglicher Entfernung voneinander angeordnet. Die eine sollte unmittelbar unter dem Äquator, die andre unter dem Polarkreise vorgenommen werden.

Zuerst wurde (1735 den 16. Mai bis 1746) die als „Peruanische Messung“ berühmte Unternehmung ausgeführt, und das ihr zu Grunde gelegte Maß — die Toise von Peru — wurde von da an das wissenschaftliche Grundmaß in allen kultivierten Ländern. Namen wie die der Geometer Bouguer und Condamine, des Botanikers Jussieu, des Ingenieurs Verguin, denen sich noch andre anschlossen, wie z. B. der berühmte spanische Gelehrte de Ulloa, bürgen dafür, daß die erzielten Resultate gewiß allen Anforderungen entsprachen, die man an eine solche Expedition stellen konnte.

Im Juni 1756 kam die zweite Expedition, bestehend aus den Akademikern Maupertuis, Clairaut, Camus und Lemonnier und dem Abbé Authier, im Bottnischen Meerbusen an und bestimmte noch in demselben Jahre die Größe eines Grades zu 57434 Toisen. Aus einer Vergleichung dieses Wertes mit dem zwischen Paris und Amiens = 57600 und noch mehr bei dem bei der peruanischen Messung gefundenen Werte = 56753 Toisen ergab sich ganz augenscheinlich, daß die Erde ein an den Polen abgeplattetes Sphäroid (also eine nur unvollkommene Kugel) sein muß, und daß der Cassinischen Messung kein Glauben geschenkt werden kann. Spätere Untersuchungen auf diesem Gebiete haben dies auch außer allen Zweifel gesetzt. Es sind noch viele Gradmessungen ausgeführt worden; indessen wollen wir nur die wichtigsten hier kurz erwähnen.

Es sind dies: die von Lacaille 1750 an der Südspitze von Afrika ausgeführte, weil sie die Zunahme der Breitengrade nach den Polen hin auch für die südliche Halbkugel beweist; die große von Delambre, Biot und Arago 1792 vollzogene, weil sie die Grundlage für das französische Metermaßsystem geworden ist; die von Gauß in Hannover, die russische von Struve über 25 Breitengrade von Ismail an der Donau bis zum Nordkap; die große ostindische, Ende der fünfziger Jahre, und die mitteleuropäische Gradmessung, welche 1861 nach einem Entwurf des Generalleutnant Dr. Johann Jakob Baeyer in Vorschlag gebracht wurde und an deren Ausführung sich die Staaten Baden, Bayern, Belgien, Dänemark, Frankreich, Hannover, Hessen-Kassel, Hessen-Darmstadt, Holland, Italien, Mecklenburg, Österreich, Preußen, Rußland, Sachsen, Sachsen-Koburg-Gotha, Schweden und Norwegen, die Schweiz und Württemberg beteiligten. Diese Gradmessung, welche noch nicht beendet ist, umfaßt einen Flächenraum von mehr als 53000 Quadratmeilen, also etwa den dritten Teil des Flächeninhalts von Europa oder den 175. Teil der ganzen Erdoberfläche, und unterscheidet sich von den früheren Unternehmungen dieser Art dadurch, daß sie nicht sowohl bloß eine Messung in einem Meridian (Breitengradmessung) oder in einem Parallel (Längengradmessung) sein soll, sondern eine Verbindung beider, welche die vollständige Bestimmung der Krümmungsverhältnisse von einem beträchtlichen Teile Europas mit allen besonderen lokalen Abweichungen von der regelmäßigen Figur und die Ermittelung der Ursachen dieser Abweichungen erstrebt.

Metermaßsystem. Bei der Gradmessung vom Jahre 1792 wurde ein Bogen von 12° 22′ 13″ untersucht, von Dünkirchen bis zur Insel Formentera, der Wert eines Grades aus dieser ganzen Länge von 705 189 Toisen berechnet und daraus die Länge des Meridianbogens vom Pol bis zum Äquator abgeleitet. Der zehnmillionste Teil dieses Quadranten sollte als Maßeinheit angenommen werden. Da aber aus den durch die Gradmessung erhaltenen Resultaten die Länge des Meters — eben jenes zehnmillionsten Teiles des Quadranten — eine verschiedene wurde, je nach der Annahme von der Größe der Erdabplattung an den Polen, über welche man nicht so rasch einig werden konnte, so bestimmte ein Dekret vom 19. Frimaire des Jahres 8, daß das gesetzliche Meter einer Metallstange gleichzusetzen sei, welche selbst bei 0° Celsius auf der bei $16,_{25}$° regelrecht bestimmten Toise von Peru $443,_{296}$ Linien der letzteren mißt. Diese Länge sollte, da die verschiedenen Ansichten über die wahre Größe des gesuchten Wertes voraussichtlich noch nicht sobald zu einer entschiedenen Einigung zu gelangen schienen und man die wichtige Frage der Maßeinigung nicht in das Ungewisse hinaus vertagen wollte, als mit dem zehnmillionsten Teil der wahrscheinlichen Länge des Erdquadranten übereinstimmend angenommen und zum Meter gemacht werden.



Fig. 13. Johann Jakob Baeyer.

Die Einteilung geschah nach dem Dezimalsystem. Die Bezeichnungen wurden zwei todten Sprachen, der griechischen und der lateinischen, entnommen, indem man von dem Gesichtspunkte ausging, daß alle heutigen Kulturvölker eine gleiche Pietät für die Sprachen jener Völker hegen, welche unsre Bildung begründet haben. Man befolgte dabei die Methode, die Bezeichnungen der Oberabteilungen der Maßeinheit aus der griechischen, die der Unterabteilungen aus der lateinischen Sprache zu entlehnen.

Die Längeneinheit selbst nannte man, wie schon erwähnt, kurzweg Meter (von dem griechischen Worte μετρόν, der Messer); die Unterabteilungen Dezimeter = $0,_1$ m; cm = $0,_{01}$ m; mm = $0,_{001}$ m; die Oberabteilungen dagegen Dekameter = 10 m; Hektometer = 100 m; Kilometer = 1000 m; Myriameter = 10000 m. Die ersteren wurden durch Zusammensetzung mit den lateinischen Wörtern decem, zehn; centum, hundert; mille, tausend; die letzteren mit den gleichbedeutenden griechischen Wörtern gebildet: δέκα (deka), zehn; ἑκατόν (hekaton), hundert; χίλιοι (chilioi), tausend, und μύριοι (myrioi), zehntausend.

Als Gewichtseinheit wurde das Gewicht eines Würfels reinen Wassers von 4° Celsius erhoben, dessen Seitenlänge den hundertsten Teil jener Längeneinheit, des Meters, betragen sollte. Man nannte sie Gramm, nach dem griechischen γράμμα (gramma), von dem man annimmt, daß es ungefähr ebensoviel gewogen habe als 1 ccm reinen Wassers bei 4° Celsius. Das Kilogramm = 1000 g wurde das Handelsgewicht; dasselbe entspricht einem Gewicht von 2 Zollpfund; im übrigen folgte die Bezeichnung ganz dem bei der Einteilung der Längenmaße angenommenen Schema; die Gewichtsgrößen, kleiner als das Gramm, heißen: Dezi-, Zenti-, Milligramme, die größeren Deka-, Hekto-, Kilogramm, nach derselben Bezeichnungsweise, welche bei den Längenmaßen angewendet worden war. Flächen- und

Körpermaße wurden direkt von den Längenmaßen durch Quadrieren und Kubieren derselben abgeleitet, und es erhielt als Einheit der ersteren die Flächengröße von 100 qm, also ein Quadrat von 10 m Seitenlänge, den Namen Are (von arare, pflügen); als Einheit der letzteren dagegen ein Würfel von 1 m Seitenlänge den Namen Stere (von στερεός [stereos] = fest, solid). Ein Würfel von einem Kubikdezimeter Inhalt wurde das Liter (von λίτρα, litra, soviel als das lateinische libra, ein Pfund oder was ein Pfund wiegt); Aren, Steren und Liter aber, ebenso wie die Meter, wurden in Dezi-, Zenti-, Deka-, Hekto-Steren, Aren u. s. w. weiter gruppiert und geteilt.

Man ersieht daraus, daß in dem Metermaßsystem durchaus nichts enthalten ist, was spezifisch französisch wäre und seiner Einführung als ein internationales Maß widerspräche. Trotz alledem wurden bisweilen gegen dasselbe Einwendungen gemacht, die man als sehr wesentliche bezeichnen hörte.

Das eine Mal wurde gesagt: es sei zur Bestimmung des Meters der Meridian, welcher durch Paris gehe, gemessen und seine Länge zur Grundlage genommen worden, das Meter demnach doch eine rein französische Größe; das andre Mal ward darauf Bezug genommen, daß das Meter nach den neueren und immer vervollkommneteren Messungen der Erde jetzt nicht mehr der zehnmillionste Teil der Länge des Erdquadranten sei, wie es anfänglich sein sollte, sondern daß in Wahrheit das Viertel eines Meridiankreises $10000857{,}_5$ m betrage, das Meter demnach falsch sei.

Der eine Einwand ist so haltlos wie der andre. Welchen größten Kreis ich auf einer Kugel messe, bleibt sich für die Bestimmung ihrer Dimensionen ganz gleich, wenn nur überhaupt ein solcher oder das Stück eines solchen gemessen wird, der durch die beiden Endpunkte eines Durchmessers, aber gleichviel welchen Durchmessers, gelegt ist. Für ein Rotationssphäroid, wie unsre Erde ist, gilt nun zwar diese Allgemeinheit nicht, da wir hier unendlich viele verschieden lange Durchmesser haben, einen längsten, der je zwei Punkte des Äquators, und einen kürzesten, der die beiden Pole miteinander verbindet. Zwischen beiden liegen Durchmesser von allen innerhalb dieser Grenzen nur möglichen Werten. Ein Meridian aber repräsentiert in seinen verschiedenen Punkten alle Größenverhältnisse unsrer Erde, und deshalb ist er an sich die allumfassendste Erddimension. Da nun unter sich alle Meridiane gleich sind — und es hat jedes Haus seinen eignen — und der Pariser Meridian genau ebenso lang ist wie der von Pontoise oder von Potsdam, so ist es komisch, den einen als besonders bevorzugt anzusehen. Zudem ist zu bedenken, daß zur Bestimmung des Quadranten, dessen zehnmillionsten Teil man als Meter annahm, alle früheren Gradmessungen mit berücksichtigt wurden und alle diejenigen Länder, welche für die wissenschaftliche Erforschung der Erde in dieser Richtung etwas gethan hatten, auch die Ehre in Anspruch nehmen dürfen, für die Bestimmung der Einheit des Metermaßsystems das Material geliefert zu haben.

Was aber den zweiten, oft als ganz besonders wichtig hingestellten Einwand betrifft, daß das Meter falsch sei, weil es nicht mehr den zehnmillionsten Teil des Erdquadranten betrage, so ist das die Sache auf den Kopf gestellt. Denn durch die immer schärfer werdende Untersuchung hat sich zwar ergeben, daß die früheren Bestimmungen der Größe der Erde an Ungenauigkeiten litten, und so lange man in der Vervollkommnung der Instrumente und der Maßmethoden fortschreitet, so lange wird man die zuletzt für richtig gehaltenen Maßangaben noch mit Fehlern behaftet finden, die aber in immer enger werdenden Grenzen sich bewegen. Der Umfang der Erde ist nach unsrer jetzigen Kenntnis größer, als man 1792 dachte; hätte man sich darauf gesteift, das Meter unter allen Verhältnissen den zehnmillionsten Teil des Erdquadranten sein zu lassen, also den Erdquadranten als Einheit anzunehmen, so würde dasselbe allerdings jetzt nicht mehr richtig sein, sondern verlängert werden müssen. Eine solche Bedingung liegt aber dem Metermaß durchaus nicht zu Grunde. Es kommt bei ihm wie bei jedem natürlichen Maße nicht darauf an, daß das Verhältnis seiner Einheit zu einer unveränderlichen Dimension der Natur gerade durch eine runde Zahl, wie 1 : 10000000, ausgedrückt wird, sondern nur darauf, daß dieses Verhältnis möglichst richtig erkannt und die richtige Verhältniszahl behalten werde. Endlich hat man auch noch den Einwurf erhoben, daß eine krumme Linie (der Umfang der Erde) nicht das

Mittel abgeben könne, Längen, d. h. gerade Linien, damit zu messen. Dem ist aber entgegenzuhalten, daß jede krumme Linie, sobald sie in ihrer Länge bestimmt und ausgedrückt wird, schon in eine gerade Linie verwandelt ist, ja daß man nicht anders zur Kenntnis der hier in Frage stehenden, der Ausdehnung eines Meridians, kommen kann, als daß man die krumme Linie selbst durch Aneinanderlegen lauter gerader Maßgrößen ausmißt.

Da nun von wissenschaftlichem Standpunkte gegen das Metersystem nichts einzuwenden ist, die Praxis aber längst entschieden hat, daß es allen Ansprüchen an Bequemlichkeit genügt, so dürfen wir hoffen, daß darin ein Weltmaß geschaffen worden sei, welches auch die übrigen Staaten noch anzunehmen für gut finden werden.

Wie bequem für die Praxis übrigens die gebräuchlichsten der im Metersystem enthaltenen Maßgrößen sind, das mag der Vergleich mit andern Maßen zeigen. Es ist

1 m = $3,_{078}$ Pariser Fuß = $3,_{281}$ englische = $3,_{186}$ rheinische = $3,_{531}$ sächsische Fuß.

1 qm = $9,_{477}$ Pariser Quadratfuß = $10,_{764}$ englische = $10,_{152}$ rheinische = $12,_{469}$ sächsische Quadratfuß.

1 cbm = $29,_{174}$ Pariser Kubikfuß = $35,_{317}$ englische = $32,_{346}$ rheinische = $44,_{032}$ sächsische Kubikfuß.

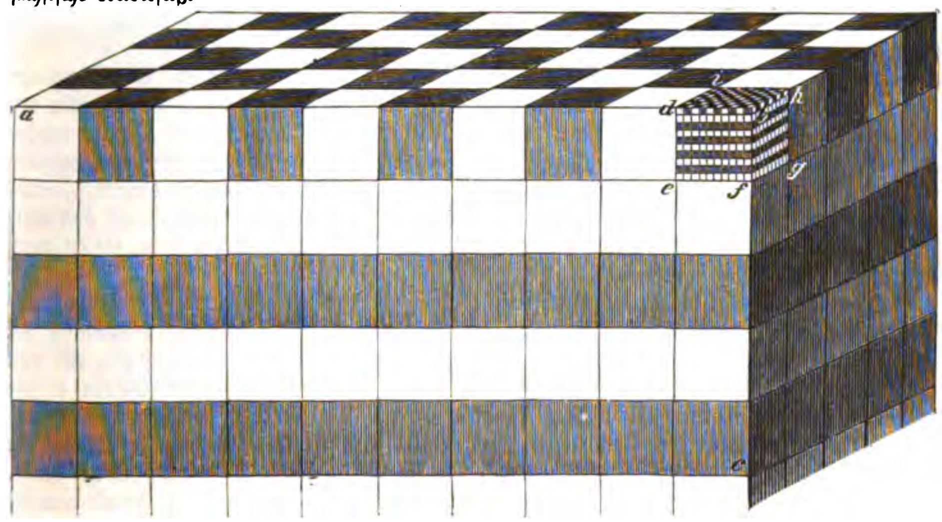


Fig. 14. Zur Veranschaulichung des Metermaßsystems: Teil eines Dezimeterwürfels mit seinen Untergrößen.

1 kg = $2,_{043}$ Pariser Pfund = $2,_{205}$ englische = 2 preußische, sächsische rc. (Zollpfund).

1 l = $0,_{873}$ preußische Quart = $0,_{220}$ Gallone = $1,_{068}$ Dresdener Kanne.

1 hl = $1,_{819}$ preußische Scheffel = $0,_{963}$ Dresdener Scheffel.

1 ha = $2,_{471}$ englische Acre = $3,_{917}$ preußische Acker (à 180 □Ruten) = $1,_{807}$ sächsische Acker (à 300 □Ruten) u. s. w. u. s. w.

Bei uns ist nun auch das Münzsystem durch eine durchgeführte Dezimalabteilung wenigstens in äußerliche Verwandtschaft mit dem Maßsystem gesetzt, und es lassen sich alle Rechnungsoperationen, die mit diesen Größen zu thun haben, auf die einfachste Weise ausführen.

Weitergehend muß man auch dem Wunsche nach einem Universal-Münzsysteme Raum geben. Indessen ist hier nicht der Ort, einem solchen das Wort zu reden; eins aber würde sich mit Leichtigkeit ausführen lassen: die Maße, Größen und Gewicht der Münzen in ein einfaches Verhältnis zu dem Maßsysteme zu setzen, so daß man die neugeprägten Münzen ohne weiteres auch zu Maßzwecken benutzen könnte, und ebenso auf den Münzen das Verhältnis der Maßeinheit zu der Größe des Erdquadranten, wie man es eben kennt, durch zwei Zahlen auszudrücken. Das würden für alle Zeit fast unverlierbare Dokumente sein.

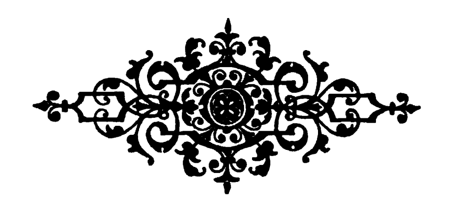
In vorstehender Fig. 14 haben wir ein Schema abgedruckt, welches die Verhältnisse des Metermaßsystems zur Anschauung bringt. Die Seite a b des würfelförmigen Körpers ist = 1 dm, seine Höhe b c = 5 cm, so daß jede Seite der einzelnen Felder = 1 cm ist. Jedes solches Feld ist 1 qcm, und der entsprechende Würfel, wie b d e f g h i einen darstellt, 1 ccm. Wie der dm in cm eingeteilt ist, so zeigt beispielsweise der cm b d 10 mm in ihrer wahren Größe, der qcm 100 qmm und der ccm 1000 cmm.

Maß der Kraft. Für die Arbeit aber, deren Kauf und Verkauf das gesamte Leben in den gewöhnlichen Fugen erhält, und für welche es nötig ist, weil ihre Leistungen einen gegenseitigen Austausch erfahren, daß man sie selbst auch einer Schätzung unterwerfen könne — für die Arbeit genügen die in dem Vorhergehenden entwickelten Maße und die damit arbeitenden Methoden noch nicht. Es kommen bei ihr Faktoren in Rechnung, die einen besonderen Maßstab verlangen. Soweit dieselben geistiger Natur sind, lassen sie sich selbstverständlich auch nur mit geistigem Auge betrachten und schätzen; soweit sie aber auf rein mechanische Kraftleistung zurückzuführen sind, wie vielerlei Maschinenleistungen, welche in der Hauptsache nur die Kraftquelle einer Dampfmaschine verlangen, müssen wir auch im stande sein, sie einem Kalkül zu unterwerfen, welche sich auf natürliche und unveränderliche Werte stützt. Wie dies geschehen kann, vermögen wir leicht zu erkennen, wenn wir die Begriffe zu Hilfe nehmen, welche uns das physikalische Gesetz von der Erhaltung und Wechselwirkung der Naturkräfte an die Hand gab.

Als allgemeines Beispiel dafür denken wir uns eine Dampfmaschine. Die Kraft derselben wird erzeugt durch Wasserdampf, in welchen wir das Wasser durch Verbrennen von Kohle überführen. Eine bestimmte Menge Kohlenstoff gibt uns durch ihre Verbrennungswärme immer dieselbe Menge Dampf von einer gewissen Spannung, also auch dieselbe Kraft, welche ihren Preis in dem Kohlenpreise — und theoretisch allein in diesem — ausdrücken kann; in Wirklichkeit kommen aber dazu noch die Zinsen für Anschaffung und Aufstellung, die Kosten für die Bedienung der Maschine nebst einem Verluste an Effekt durch Wärmeverlust, Reibung u. s. w.

Man könnte nun die mechanische Kraftleistung theoretisch sehr richtig durch eine Einheit messen, welche uns in dem Effekte gegeben ist, den eine gewisse Menge Kohlenstoff bei seiner Verbrennung erzeugt, und diese Maßmethode würde in dem Kohlenstoffe ein weit bedeutungsvolleres Währungsmaterial erkennen lassen, als es Gold oder Silber je sein können. Indessen verlöre dieses Maß für die Praxis den Vorteil sinnlicher Anschauung; deshalb hat man sehr richtig diejenige Kraftmenge als Einheit angenommen, welche in einer Sekunde im stande ist, eine Gewichtseinheit um eine Längeneinheit in die Höhe zu heben.

Da die Zeiteinheit (Sekunde) unter allen Umständen dieselbe bleibt, so drückt man sie bei der Maßangabe von Kraftgrößen nicht erst besonders aus; Gewicht und Hubhöhe dagegen muß man erwähnen, da es von Wesenheit ist, welches Maßsystem zu Grunde gelegt wurde. Um also die Einheit für mechanische Kraftmessung zu bezeichnen, verbindet man die Benennung der Gewichtseinheit mit der der Maßeinheit, z. B. Fußpfund, Meterkilogramme, und will damit sagen, daß im ersteren Falle sie eine Kraft repräsentiert, welche im stande ist, in einer Sekunde ein Gewicht von 1 Pfund um 1 Fuß zu heben; im zweiten dagegen eine Kraft, welche in derselben Zeit 1 kg um 1 m in die Höhe hebt; 16 mkg können durch den Hub von 8 kg auf 2 m oder von 4 kg auf 4 m oder von 2 kg auf 8 m in einer Sekunde geleistet werden. Für die bedeutende Leistung der Dampfmaschinen nimmt man oft die Leistung einer sogenannten Pferdekraft als Einheit an. Dieselbe beträgt 510 Fußpfund oder 75 mkg.





> Vergebens, daß ihr ringsum wissenschaftlich schweift,
> Ein jeder lernt nur, was er lernen kann;
> Doch der den Augenblick ergreift,
> Das ist der rechte Mann.
>
> Goethe.

Windmühle und Schraubenschiff.

Bewegungsapparat der Dampfschiffe. Die schiefe Ebene. Kraftwirkung an derselben. Anwendungen. Der Keil. Die Schraube. Ihr Gesetz und ihre Verwendung. Der Flieger. Die Schiffsschraube und ihre Geschichte. Du Quet. Bernoulli. Paucton. Delisle. Sauvage. Josef Ressel. Ausführung der Schiffsschraube. Der Windmühlenflügel. Wirkung des Windes auf denselben. Geschichte der Windmühlen.

Im Jahre 1807 ließ Robert Fulton in New York auf dem Hudson das erste Dampfschiff fahren, nachdem er im Jahre 1803 bereits auf der Seine in Paris Versuchsfahrten gemacht hatte. Dieses Jahr wird in der Geschichte der Menschheit ein ewig denkwürdiges bleiben dadurch, daß aus der hemmenden Fessel, welche die Entfernung der Völker für deren gegenseitige Entwickelung ist, das spannendste Glied herausfiel. Die Überschreitung des vermittelnden Ozeans wurde eine freie, willkürliche, von Wind und Meeresströmungen unabhängige. Fulton aber mit seinem genialen Gedanken wurde damals verlacht von der Menge, die ihn heute — wenn sie geneigt wäre, sich seine Verdienste zu vergegenwärtigen — unter ihre höchsten Wohltäter zählen müßte. Denn nicht dem Auswanderer allein, oder dem Schiffsreeder, oder dem Kaufmann, oder dem Reisenden kommen die Vorteile der neuen Schiffahrt zu gute, dem Geringsten aus dem Volke, dem armen Heidebewohner, der scheinbar völlig unberührt von der Außenwelt sein eng umgrenztes Leben durchlebt, wurde sie ebenso nützend wie dem Reichen, der sich mit den Erzeugnissen aller Erdteile zu umgeben vermag.

Der erste Grundgedanke zu dem Bewegungsapparat der Dampfschiffe war dem alten Ruderboote entnommen. Es sollte eine Anzahl nacheinander regelmäßig eintauchender Schaufeln durch den Widerstand, den ihnen das Wasser entgegensetzt, den Schiffskörper weiterschieben. Diese Idee erwies sich, indem man die Schaufeln radförmig an einer

leicht durch das Spiel der Dampfmaschine zu bewegenden Welle anbrachte, als durchaus zweckentsprechend, und so kam es, daß sie, mit geringen Abänderungen in der Form der Schaufeln, bis auf den heutigen Tag sich in Ausführung erhielt. Mancherlei Übelstände, die sich wohl herausstellten, schienen entweder nicht so wesentlich oder nicht zu umgehen, so daß man sie ruhig mit in den Kauf nahm. Die Erschütterung z. B., welche das schlagartige Eintauchen der Radschaufeln in das Wasser verursachte, war weder für die Dauerhaftigkeit und den sichern Gang der Maschine von Nutzen, noch auch für die Bemannung des Schiffes besonders angenehm; bei bewegter See konnten die auf beiden Seiten des Schiffes angebrachten Schaufelräder nicht gleichmäßig arbeiten, indem bald das eine, bald das andre ungleich hoch aus dem Wasser herausgehoben oder tief hinein begraben wurde; endlich war durch Sturm und andre äußere Zufälle das Rad selbst der Beschädigung sehr leicht ausgesetzt, ein Umstand, der besonders für Kriegsschiffe von allergrößter Bedeutung sein mußte.

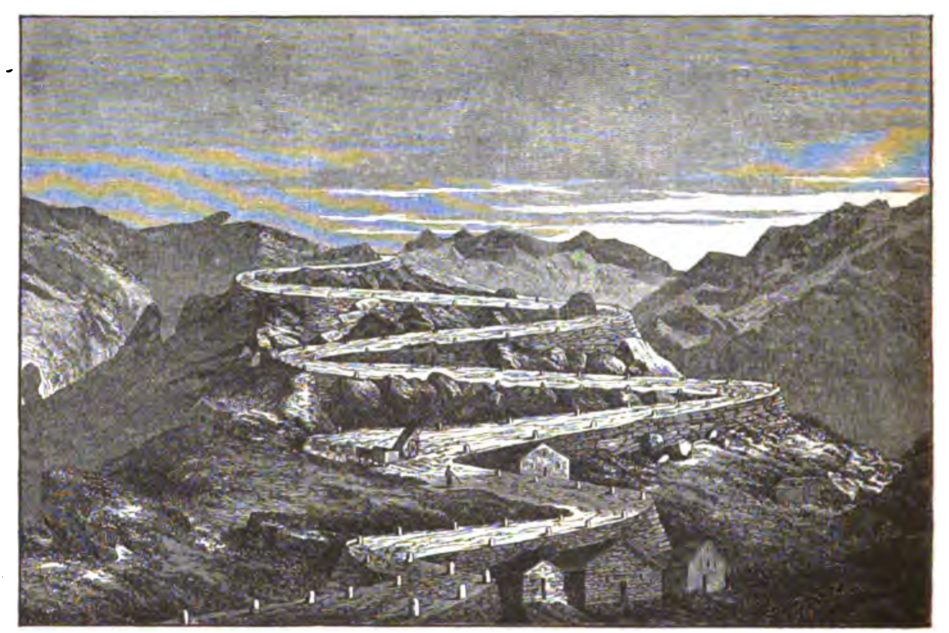


Fig. 16. Kunststraßenanlage zur Überwindung großer Steigung.

Aber wenn auch die naheliegenden Wünsche, welche auf einen ganz gleichmäßigen, ruhigen Gang und auf eine Lage, die ihn den Einwirkungen der Wellen und feindlichen Geschütze entrückte, hinausliefen, wenn auch diese das Gros der Schiffahrer und Schiffsbauer weniger berührten, weil der Gedanke an eine glückliche Lösung nur wenig Aussicht auf Erfüllung hatte, so gab es doch einzelne Köpfe, die ihn sehr zeitig ergriffen und unausgesetzt verfolgten. Und im Jahre 1837, an einem trüben, stürmischen Septembertage, durchschnitt ein Dampfschiff zum erstenmal die aufgeregten Wellen der See und wagte die Fahrt von Blackwell über Dover und Folkestone nach Hyte, welches an den Seiten keine Radkästen trug, welches nicht die Schaufelschläge der Räder hören, nicht den aufspritzenden Schaum bemerken ließ, sondern in ruhigem Gange dahinschoß und statt der gewöhnlichen, weithin sich ausdehnenden Wasserfurche, die den bisherigen Dampfschiffen zu folgen pflegte, nur einen langen, kreiselnden Wasserstrang nach sich zog, der seinen Ursprung offenbar dem verborgenen Bewegungsapparate verdankte.

Dieses neue Dampfschiff, „Infant Royal", war von dem Engländer Smith erbaut worden, der sich die Idee, anstatt der hebelartig wirkenden Schaufelräder die Schraube zur Fortbewegung anzuwenden, das Jahr vorher hatte patentieren lassen. Wir sehen also in dem „Infant Royal" das erste Schraubenboot vor uns.

Wie an sich alles Neue mit Vorurteil betrachtet wird von der leicht bestimmbaren, aber schwer zu überzeugenden Menge — und zu dieser großen Menge gehören auch jene sogenannten Fachleute und Sachverständigen, welche aus Faulheit, Unkenntnis, Mißgunst und andern verächtlichen Gründen der Voreingenommenheit alles von sich weisen, was ihnen oft bloß seines Urhebers wegen nicht bequem erscheint — so erging es auch dem „neuen Propeller", der Schraube, und so war es ihm ergangen, denn er hatte bereits eine Geschichte hinter sich, wie deren in den Annalen des Fortschritts leider viele aufgezeichnet sind.

Indessen wird es an dieser Stelle notwendig, um das Folgende leicht verständlich zu machen, auf das Wesen und die Einrichtung des Hauptteiles der neuen Erfindung, auf die Schraube selbst, etwas näher einzugehen, und wir bitten den Leser deshalb, uns auf einem kurzen Gange durch ein physikalisches Gebiet zu begleiten. Wenn wir über die Wirkungsweise der gewöhnlichen Schraube, die wir in unzählig verschiedener Anwendung an vielen unsrer Geräte und Maschinen zu beobachten Gelegenheit haben, im klaren sind, so sind wir es auch über das Prinzip der Schiffsschraube, denn diese ist nur in der Art und Weise der Anwendung etwas Neues. Aber wiederum ist auch die gewöhnliche Schraube nicht das letzte Fundament der in Frage kommenden Erscheinungen, vielmehr liegt allen diesen eine noch einfachere Maschine zu Grunde:

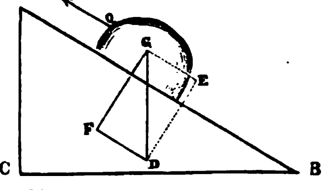


Fig. 17. Wirkungsweise der Kraft an der schiefen Ebene.

Die schiefe Ebene. Eine Ebene, welche gegen die Horizontalebene in einem Winkel geneigt ist, heißt eine schiefe Ebene. Während sich durch einen Punkt nur eine einzige Horizontalebene legen läßt, kann es für denselben Punkt unendlich viel verschiedene schiefe Ebenen geben, je nachdem die Neigung derselben zum Horizont eine größere oder geringere ist, von der eigentümlichen Richtung des Streichens ganz abgesehen.

Jedermann weiß, daß auf der Straße ein Wagen um so schwieriger zu ziehen ist, je steiler der Weg geht; um so leichter aber, je weniger derselbe geneigt ist, oder je größer die Länge ist, auf die sich die zu überwindende Steigung verteilt. Man kann deshalb, weil die Leistungsfähigkeit der Tiere sowohl wie die der Lokomotiven eine Grenze hat, nur bis zu einem gewissen Winkelgrade Straßen und Eisenbahnen ansteigen lassen und wird, wenn die Erhebung eine steilere ist, gezwungen, entweder durch Führung in Schlangenlinien (Serpentinen) die Neigung auf eine größere Länge zu verteilen oder zu andern Hilfsmitteln zu greifen, wie zum Aufziehen der Wagenzüge mittels starker Seile, welche durch eine auf der Höhe stehende Dampfmaschine auf große Trommeln gewickelt werden, oder Triebstangen, Zahnräder u. dgl. anzuwenden, wie es auf der Rigibahn 2c. geschieht.

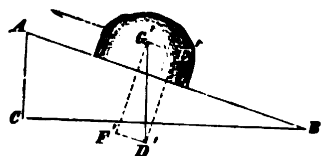


Fig. 18. Wirkungsweise der Kraft an der schiefen Ebene.

Wird die Steigung immer größer, so geht die Fläche endlich in eine senkrechte über, und in diesem Falle erfordert die Aufgabe, eine Last emporzuheben, die größte Kraftanstrengung, was schon durch das verzweiflungsvolle Wort des Dichters ausgedrückt wird:

„Es ist um das Haar sich auszuraufen,
Und an den Wänden hinaufzulaufen."

Man kann die Größe des Widerstandes, welchen die verschiedene Neigung schiefer Ebenen der Fortbewegung einer Last entgegensetzt, sehr leicht bestimmen. Bedeutet nämlich das Dreieck ABC in Fig. 17 eine schiefe Ebene im Durchschnitt, deren Basis die Linie BC, deren Höhe AC, deren Länge AB ist, und deren Steigung durch das Verhältnis ihrer Höhe zu ihrer Länge AC : AB ausgedrückt wird, so können wir uns die zu bewegende Last in G und die Größe ihres Gewichts durch die Länge der Linie GD ausgedrückt denken. Die Schwere strebt die Last in der Lotlinie GD nach der Erde zu ziehen; die schiefe Ebene AB aber gestattet ein direktes Herabfallen nicht, die Last ruht auf ihr. Dadurch wird ein Teil der Schwere für die Bewegung wirkungslos und äußert sich als Druck senkrecht auf die Unterlage AB; das Herabgleiten kann nur mit dem noch übrig bleibenden Reste der

Kraft geschehen. Dieser Rest muß von der Zugkraft der Pferde oder der Lokomotive oder sonst einer bewegenden Kraft, die wir uns in der Richtung der Linie Q wirkend zu denken haben, überwunden werden.

Es fragt sich, wie groß dieser Teil ist. Erinnern wir uns aus dem Gesetz vom Parallelogramm der Kräfte des Satzes, daß jede Kraft als das Produkt, die Resultierende, zweier andrer im gleichen Punkte angreifender Kräfte gedacht werden kann, so brauchen wir die Linie GD nur als die Diagonale eines Parallelogramms DFGE anzusehen, um in den beiden Seitenlinien GE und GF die gesuchten Werte zu finden. Es zerlegt sich nämlich die Kraft GD in einen senkrechten Druck GF auf die schiefe Ebene und in die Zugkraft GE, mit welcher die Last auf der schiefen Ebene herabgleiten möchte. Will man also das letztere verhindern, so muß man eine GE gleichgroße Kraft in der entgegengesetzten Richtung wirken lassen. Ist die Kraft größer, so folgt ihr die Last und bewegt sich nach der Höhe A hin. Schon ein Blick auf unsre Figur zeigt, daß die Zugkraft nicht so groß zu sein braucht als das ursprüngliche Gewicht der Last, und wenn wir in gleichem Sinne Fig. 17 betrachten, so sehen wir, daß mit der Steigung sich das Bestreben der Last, herabzurollen, vermindert, dagegen umgekehrt der Druck auf die schiefe Ebene sich vermehrt.

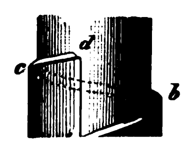


Fig. 19. Theorie der Schraube.

Ruht eine Last auf einer horizontalen Fläche, so wirkt ihr ganzes Gewicht als Druck auf die Unterlage, und es bleibt nichts für eine Bewegung nach der Seite übrig. Wir können das Gesetz in die Worte zusammenfassen: es verhält sich die Kraft, mit welcher ein Körper auf einer schiefen Ebene herabzugleiten bestrebt ist, zu seinem Gewichte wie die Höhe der schiefen Ebene zu ihrer Länge. Ist also in Fig. 17 dieses Verhältnis doppelt so groß wie in Fig. 18, so wird auch die Zugkraft das erste Mal das Doppelte von derjenigen betragen müssen, welche in Fig. 18 die Last von B nach A zu schaffen vermöchte.


Fig. 20. Schraubenspindel mit dreiseitigem Querschnitt des Ganges.


Fig. 21. Schraubenspindel mit vierseitigem Querschnitt des Ganges.

Wir dürfen nur unsre Augen um uns gehen lassen, um fortwährend neue Bestätigungen dieser Regel und die mannigfachsten Erscheinungsweisen dieser Wahrheiten zu erblicken. Jedes Flußbett ist eine schiefe Ebene, auf der das Wasser je nach der Neigung (Gefälle) mit größerer oder geringerer Geschwindigkeit von höheren zu tieferen Punkten hinabfällt: nichts andres sind die Gleitbahnen, Holzriesen, die Schrotleitern, welche die Fuhrleute anwenden u. s. w., und zwar sind dies alles unbewegliche schiefe Ebenen.

Im Gegensatz zu ihnen kennt die Praxis auch eine Menge Anwendungen, bei denen die schiefe Ebene beweglich ist. Ob ich nämlich eine Last eine schiefe Ebene hinaufziehe, oder ob ich die schiefe Ebene, wie es beim **Keil**, bei der Keilpresse u. s. w. geschieht, unter die Last treibe und diese dadurch hebe, das muß sich gleich bleiben; und ferner ändert es auch nicht das Prinzip, ob ich mit Hilfe des Keiles eine widerstehende Last hebe, oder sie, wie es wohl am häufigsten geschieht, dadurch in dem Zusammenhange ihrer Masse zu trennen suche. Beil und Hacke, Messer, Meißel, Spaten, Pflugschar, Schere, ja die Nadel, der Pfriemen, der Grabstichel, kurz alles, was schneidet oder sticht, sind Anwendungen des Keiles, und ihre Wirkung gründet sich mit diesem auf das Gesetz der schiefen Ebene. Je allmählicher die Neigung, d. h. je dünner die Schneide ausläuft, je schärfer das Instrument ist, um so leichter wirkt es.

Fig. 22. Viergängige Schraube.

Die Schraube. Die beweglichen schiefen Ebenen führen uns nun unserm eigentlichen Gegenstande näher. Denken wir uns einen langen, schmalen Keil aus einem biegsamen Material, etwa aus Horn dargestellt, den man um einen Cylinder wickeln kann, so haben wir in dieser durch die Fig. 19 dargestellten Form dasjenige, was wir eine **Schraube** nennen. Die durch die Oberfläche der schiefen Ebene auf dem Mantel des Cylinders sich abzeichnende Linie a b c d heißt eine **Schraubenlinie**, der einmalige Umgang von a bis d

ein Schraubengang; a d ist die Höhe desselben, und die Steigung drückt man ebenso wie bei der schiefen Ebene durch das Verhältnis der Höhe zur Länge oder durch den Winkel an der Basis aus.

Die praktische Ausführung der Schraube ist eine sehr verschiedene. Zunächst wollen wir nur erwähnen, daß man die Gänge sowohl von dreiseitigem als auch von vierseitigem Querschnitt macht (s. Fig. 20 und 21), und daß man da, wo es die größere Steigung erlaubt, bisweilen zwei und mehrere derselben parallel nebeneinander laufend anbringt, wie es Fig. 22, in welcher vier Schraubengänge für sich dargestellt sind, zeigt. Die Trillbohrer zeigen solche Schrauben in praktischer Verwendung. Die mannigfachen Anwendungen der Schraube, obwohl sie ihrem ersten Anschein nach von den gewöhnlichen Verwendungsarten der schiefen Ebene abweichen, lassen den verwandtschaftlichen Zusammenhang beider leicht erkennen. Die Richtung, in welcher die Kraft bei der Schraube wirkt, liegt stets in der Achse des Cylinders. Man kann die Schraube wie einen Keil in die Masse fester Körper allmählich einschieben (Bohrer, Korkzieher), sie rückt dann in der Richtung ihrer Achse darin weiter, und zwar genau bei jeder ganzen Umdrehung um die Höhe eines Schraubenganges.


Fig. 23. Schraubenmutter.

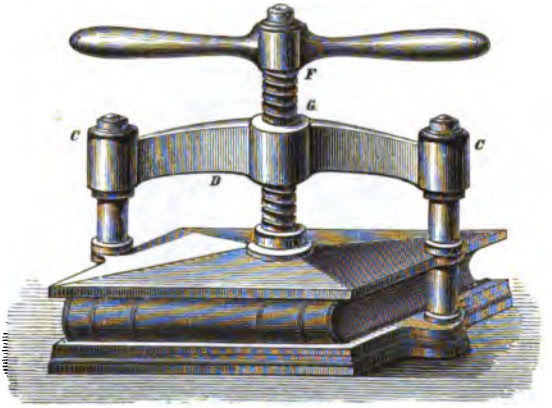
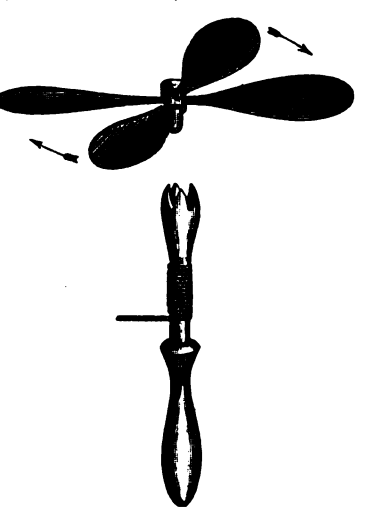


Fig. 24. Schraubenpresse mit unbeweglicher Mutter.

Um diese Fortbewegung möglichst gleichmäßig und sicher zu machen, stellt man aus einem festen Material eine Führung dar, eine sogenannte Schraubenmutter, welche die erhabenen Schraubengänge der Spindel vertieft zeigt (Fig. 23). Je nachdem man nun Spindel oder Mutter fest, d. h. unverrückbar macht, oder dem einen dieser Teile die drehende, dem andern die in der Richtung der Achse fortschreitende Bewegung zuteilt, erhält man Gelegenheit zu den mannigfachsten Vorrichtungen, welche einen Zug oder einen Druck oder eine Umsetzung der Bewegung auszuüben bestimmt sind (Buchdruckpressen, Weinpressen, Münzapparate ꝛc.). Bei ihnen ist bald die Spindel beweglich (Fig. 24), bald feststehend, wie in den Buchbinderpressen, Kartenpressen u. s. w.; bald, wie bei den Trillbohrern, bewegt sich der eine Teil in der Längsrichtung und zwingt den andern, sich zu drehen, oder umgekehrt.

Es geht aus dem Erwähnten hervor, daß die Kraft, um einen Effekt auszuüben, abgesehen von der Reibung, sich auch bei der Schraube zu der Last oder dem Widerstande verhalten muß, wie die Höhe der Windung zu der Länge (dem Umgange) derselben. Eine Schraubenspindel, deren Gänge auf 10 cm Umgang um 1 cm ansteigen, gestattet mit 1 kg Kraft einer Last von 10 kg das Gleichgewicht zu halten oder damit einen Druck von 10 kg auszuüben. Je geringer die Steigung ist, um so größer kann der Widerstand sein, den eine gegebene Kraft überwindet. Freilich wird, was man auf der einen Seite an Kraft gewinnt, auf der andern an Zeit verloren, und der endliche Effekt bleibt immer ein bestimmter, nicht zu überschreitender.


Fig. 25. Der Flieger.

Die Schraube ist auch durch ihre langsame, gleichmäßige Vorwärtsbewegung ein geeignetes Mittel, um außerordentlich kleine Stellungsänderungen, z. B. bei astronomischen und physikalischen Instrumenten, Wasserwagen, Mikroskopen u. s. w., hervorzubringen, da sich Bewegungen der Umdrehung, die man beliebig groß machen kann, leichter schätzen lassen. Bezeichnet man die Umdrehung in einem geteilten Kreise, so lassen sich, wie es in der That bei dem Support der Drehbänke und den Teilmaschinen geschieht, die allergenauesten Teilungen ausführen, die bei sorgfältiger Herstellung der Apparate eine Grenze für unser Auge fast nicht mehr haben und denen die Messung von Schmetterlingsstaub und Blutkügelchen eine leichte Aufgabe ist (Mikrometerschraube). Wir übergehen hier eine weitere interessante Anwendung der Schraube zu Zwecken der Maschinentechnik, der sogenannten Schraube ohne Ende, auf welche wir bei den Zahnrädern zurückkommen, und wenden uns wieder unserm Gegenstande, der Schiffsschraube und den Windmühlenflügeln, zu.

Die Schiffsschraube. Untersuchen wir das Prinzip der Schiffsschraube, so finden wir dasselbe lediglich darauf beruhend, daß das Wasser genug Widerstand leistet, um einer sehr rasch um ihre Achse sich drehenden Schraube gegenüber sich wie eine feststehende Schraubenmutter zu verhalten. Die Schraubenspindel schraubt sich in dasselbe hinein, wie ein Korkzieher in den Kork, und bewegt sich darin somit samt dem mit ihr verbundenen Schiffe in der Richtung ihrer Achse weiter.



Fig. 26. Daniel Bernoulli.

Wer kennt nicht das Kinderspielzeug, den sogenannten Flieger, der durch seine schnellen Umdrehungen sich hoch in die Luft hinaufwirbelt? Wie es Fig. 25 veranschaulicht, besteht derselbe aus vier Flügeln, welche in etwas schiefer Lage um einen Dorn a angebracht sind. Jeder derselben stellt vermöge seiner Neigung ein Stück einer Schraubenfläche dar. Diese Vorrichtung wird mit dem Dorn in die gabelförmige Öffnung des Umdrehungsapparats b gelegt und der letztere durch Abziehen einer umgewickelten Schnur, wie der bekannte Mönch, in sehr rasche Umdrehung versetzt, welche sich natürlich auch dem Flieger mitteilt und infolge deren sich dieser in der Luft in die Höhe schraubt, bis er matter wird und sein Gewicht ihn wieder herabzieht. Wie hier der Widerstand der Luft, so wirkt bei der Schiffsschraube der Widerstand des Wassers; da derselbe aber viel größer, die Fortbewegung eines Körpers in horizontaler Richtung außerdem leichter als die in vertikaler Richtung ist, so wird es nicht unwahrscheinlich sein, daß ein ähnlicher Apparat, wie der Flieger, der natürlicherweise entsprechend groß und in der Längsrichtung des Schiffes angebracht sein muß, wenn er nur genügend rasch sich dreht, auch einen schweren Schiffskörper in Bewegung setzen kann.

Nach vielen Versuchen ist das Problem in zweckmäßiger Weise gelöst worden. Die dazu unternommenen Anstrengungen datieren aus sehr alter Zeit. Bereits im Jahre 1731 schlug der Franzose Du Quet einen Apparat zur Schiffsbewegung gegen den Strom vor, der sich auf die Wirkung der Schraube gründete. Nur ging Du Quet von demselben Prinzip aus, nach welchem die Flügel der Windmühle konstruiert sind und das wir später entwickeln werden. Er wollte

nämlich die Strömung des Wassers, wie bei den Mühlen die Kraft des Windes benutzt wird, zur Umdrehung einer an einer Welle angebrachten Flügelvorrichtung angewandt wissen. Die Welle sollte eine Trommel tragen, auf die sich ein von einem stromaufwärts gelegenen Punkte des Ufers ausgehendes Seil aufwickeln und dadurch das Schiff heraufziehen sollte.

Dieser Vorschlag, der wohl nie in Ausführung gekommen ist, hat nur ein wissenschaftlich geschichtliches Interesse; für die Praxis der Schiffsmaschinen ist er von keinem fördernden Einfluß gewesen. Hätte auch der berühmte Physiker Daniel Bernoulli davon Kenntnis gehabt, so beweist doch die Denkschrift desselben, 1752 bei der französischen Akademie eingereicht, daß er von der Du Quetschen Idee nichts benutzt hat.

Bernoulli stellte die Sache vielmehr auf den Kopf und ging hierbei von dem Gedanken aus, die windmühlflügelartige Vorrichtung, welche er unterhalb des Schiffes angebracht wissen wollte, nicht durch die Strömung des Wassers bewegen zu lassen, sondern sie durch eine im Schiffe befindliche Kraft in Umdrehung zu versetzen und dadurch eine Bewegung des Schiffes, gewissermaßen eine entgegengesetzte Strömung, hervorzurufen. Mit diesem Gedanken hatte er die Schiffsschraube, wie wir sie heute noch anwenden, erfunden, und es gebührt dem genialen Schweizer die Ehre der Priorität. Der Preis, welchen Bernoulli für seine Denkschrift von der Akademie erhielt, war ein wohlverdienter; trotzdem blieb die Sache selbst außer dem Kreise der Gelehrten ziemlich unbeachtet, und Paucton, der Nächste, der darauf zurückkam, that in seinem Werke „Theorie der Archimedesschen Schraube“ (Paris 1768) nichts anderes, als den bereits gemachten Vorschlag zu wiederholen. In bezug auf die praktische Ausführung gab er aber einige Winke, von denen es nur merkwürdig ist, daß sie fast hundert Jahre unbeachtet und vergessen blieben, so daß die Neuzeit sie als neu erfunden hinstellen konnte. Um nämlich den Übelstand des großen Tiefganges eines Schraubenschiffes zu vermeiden, schlug Paucton vor, statt einer Schraube unterhalb des Schiffes deren zwei, eine an jeder Seite angebracht, oder eine einzige am Vorderteile wirken zu lassen. Die damals noch bestehende große Unvollkommenheit der Maschineneinrichtungen ist jedenfalls der Grund, daß der erste Gedanke so spurlos vorüberging. Er erklärte ferner, die Schraube könne teilweise aus dem Wasser emporragen; die Dimensionen der Flügel, die Geschwindigkeit der Umdrehungen hätten sich nach der Größe des Kahnes zu richten u. s. w.



Fig. 27. Frédéric Sauvage.

Die Kraft, welche die Bewegung der Schraube hervorbringen sollte, konnte damals noch keine andre als die mechanische Kraft von Tieren oder Menschen sein. Wenige Jahre vorher erst hatte Watt seine Umgestaltung der Dampfmaschine begonnen, und es war an eine Einführung derselben unter die Schiffsmotoren noch nicht zu denken. Als aber zu Anfang dieses Jahrhunderts Fulton seine ersten Dampfschiffe gebaut, deren Erfolge auch die ärgsten Zweifler verstummen gemacht hatten, wäre es an der Zeit gewesen, die Bernoullischen und Pauctonschen Vorschläge hervorzusuchen. Merkwürdigerweise geschah sobald nichts derartiges.

Der erste, welcher seine Augen wieder auf die Schraube warf und die praktische Bedeutung derselben erkannte, war der französische Geniekapitän Delisle, der 1823 der

Regierung eine bezügliche Vorlage machte. Indessen auch seine Bemühungen blieben ohne Erfolg, die große Menge hatte keine Sympathien für eine weitere Vervollkommnung der Dampfschiffahrt, deren Leistungen für manche so wie so noch kaum glaubhaft waren.

Erst als der Verkehr eine Ausbreitung annahm, welche den Wert der Zeit ganz anders beurteilen ließ, als die Triumphe der Eisenbahnen und Telegraphen für die Seefahrer mahnend wurden, da war der Boden vorbereitet für eine günstige Entwickelung der Schraubenidee. Es ist eigentümlich, daß das Urteil des Publikums auch heute noch in jene Zeit erst die Anfänge der ganzen Erfindung verlegt und die bei weitem früher erworbenen Verdienste Bernoullis und Pauctons gänzlich übergeht. Die englische Regierung setzte 1825 einen Preis auf die Verbesserungen der Schiffstriebmaschinen, weil sich für die Schaufelräder große Nachteile vorzüglich durch den starken Wellenschlag im Kanal La Manche herausstellten. Obwohl Samuel Brown diesen Preis gewann, so ist doch seine Erfindung zu keiner praktischen Bedeutung gelangt. Aber das Bedürfnis war erkannt und ausgesprochen, und in dieser Erkenntnis, in der Fragestellung lagen die günstigen Bedingungen der Reife für die bereits lange vorher gemachte Erfindung.

Vorzüglich sind es drei Persönlichkeiten, denen der Patriotismus ihrer Landsleute gern die Ehre der ersten Idee zueignen möchte: der Engländer Smith, der Franzose Sauvage und der Deutsch-Österreicher Ressel. Nehmen wir die Sache streng, so hat eben keiner von ihnen, am allerwenigsten aber Smith, ein Recht, den ersten Anspruch zu erheben. Es ist möglich, daß Ressel und Sauvage die Arbeiten ihrer Vorgänger unbekannt geblieben sind, und daß sich ihre Ideen auch in derselben Weise entwickelt haben würden, wenn Bernoulli und Pauction gar nicht gelebt hätten; allein da das Frühere einmal bestand, so ist seinen Urhebern auch der Ruhm nicht zu schmälern. Es konnte sich nach Bernoulli nur um den durch einen großartigen Versuch zu bestätigenden Beweis der praktischen Verwendbarkeit der Schiffsschraube, um ihre thatsächliche Einführung in die Schiffsbaukunst handeln. Dies darzuthun war mehr Sache der Thatkraft und reicher Mittel als einer besondern Erfinderaufgabe.

Das Wesen einer Erfindung liegt streng genommen entweder in einer gänzlich neuen Erfahrung, auf dem Gebiete der natürlichen Gesetze gemacht, oder, wie es meistens der Fall ist, in dem Nachweis einer neuen Verwendbarkeit bekannter Thatsachen. Die Schraube an sich war längst bekannt, ihre Fortbewegung im Wasser oder die Wirkung des Wassers als Schraubenmutter war von Bernoulli entdeckt; alle späteren Namen, die uns in dieser Angelegenheit auftauchen, sind daher mehr durch ihren kraftvollen Kampf gegen die Teilnahmlosigkeit des Publikums und das ablehnende Verhalten der Marinebehörden zu ihrem Ruhme gekommen, als durch wirklich neue Gedanken, durch welche Wissenschaft und Technik eine bedeutsame Förderung erfahren hätten.

Es heißt einer Nation einen üblen Dienst erweisen, wenn man, wie es von vielen Seiten auch in Deutschland gern geschieht, womöglich alles, was die Menschheit besitzt, als von dem eignen Volke erfunden, von ihm ausgegangen, von ihm erdacht hinzustellen sich Mühe gibt. Früher oder später erweist sich die der großen Menge abgerungene Anerkennung als grundlos, und leicht verfällt dann auch das wirkliche Verdienst einer verdächtigenden Beurteilung.

Frédéric Sauvage, zu Boulogne am 19. September 1785 geboren, wurde frühzeitig schon dem Ingenieurkorps seiner Vaterstadt eingereiht; indessen gab er 1811 diese Laufbahn auf und wurde Schiffsbauer. Er mochte aber auch auf diesem Wege nicht die geträumten Erfolge so rasch, wie er bei seinem hastigen Temperament gedacht hatte, verwirklicht sehen, denn wir finden ihn in nicht zu langer Zeit mit ganz andern Unternehmungen beschäftigt. In den Brüchen von Ellinger bei Marquise begründete er 1821 eine Anstalt zum Zersägen und Polieren des Marmors, in welcher er eine Windmühle mit wagerechten Flügeln als Motor anwandte. Diese von ihm gemachte Neuerung trug ihm die goldene Denkmünze als Anerkennung ein. Er erfand ferner für plastische Zwecke einige geeignete Instrumente, von denen namentlich der Reduktor, eine Anwendung des Pantographen auf Werke der Bildhauerkunst, um dieselben in verjüngtem Maßstabe darzustellen, eine rühmende Erwähnung verdient; denn ihm verdanken wir zumeist die zahllosen guten Kopien antiker

Kunstwerke, welche wir um so geringen Preis bei den Gipsfigurenhändlern kaufen. Außerdem rührt von Sauvage ein hydraulischer Blasebalg her. Aber keine dieser verschiedenartigen Erfindungen war im stande, seinen immer tiefer verfallenden Vermögensverhältnissen abzuhelfen, und auch seine bedeutendste Unternehmung, die praktische Verwendung der Schiffsschraube, vermochte nicht den Mangel von seiner Schwelle zu scheuchen. Im Jahre 1832 hatte Friedrich Sauvage darauf ein Patent genommen, allein seine Mittellosigkeit erlaubte ihm nicht, seine Idee überzeugend ins Werk zu setzen. Hatte er doch schließlich nicht so viel, um eine geringfügige Schuld zu bezahlen, die ihn ins Gefängnis warf, wo er in dem Augenblicke sogar noch gesessen haben soll, als (1843) in Havre ein Schiff vom Stapel lief, welches nach einem Modell seines schon erwähnten englischen Nebenbuhlers Smith auf Rechnung der französischen Regierung gebaut worden war. Jetzt erst, zwölf Jahre nach seinen ersten Versuchen, wurde die Bedeutung des nun von England herübergebrachten Motors eingesehen.



Fig. 28. Joseph Ressels Denkmal in Wien.

Schon bei den ersten Probefahrten des „Napoleon“, welchen eine dazu beorderte und aus den höheren Beamten des Marineministeriums bestehende Kommission beiwohnte, blieb kein Zweifel an dem Erfolge mehr übrig. Die Journale ergriffen lebhaft die Angelegenheit; man gedachte des unglücklichen Sauvage und brachte vorwurfsvoll sein Schicksal in Erinnerung, so daß selbst in England eine schöne Teilnahme für den bedauernswerten Mann sich regte. Seine Schuld wurde bezahlt, er erhielt Unterstützung und eine kleine Pension, aber zu spät — denn seine letzte Aufgabe war ohne ihn von einem Fremden erfüllt worden. Nach einem erbärmlichen Lebensabende starb er in gänzlicher Hoffnungslosigkeit, da keine seiner zahlreichen Erfindungen den ersehnten Nutzen für seine Familie bringen wollte, am 17. Juli 1857 in dem Krankenhause zu Picpus.

Joseph Ressel wurde 1793 zu Chrudim in Böhmen geboren. Er verlebte hier seine erste Jugend, bis er aus dem elterlichen Hause nach Linz gebracht wurde. Auf dem dortigen Gymnasium vorgebildet, bezog er, nachdem er in Budweis noch Artilleriewissenschaften studiert hatte, 1812 die Universität Wien, um sich der Medizin zu widmen. Namentlich waren es aber die Naturwissenschaften im allgemeinen, welche ihn fesselten und ihn zu einer Änderung seines Lebensplanes veranlaßten. Im Jahre 1814 ging er an das k. k. Forstinstitut zu Mariabrunn; 1816 wurde er zum Forstagenten in Unterkrain ernannt. In die Zeit seines akademischen Studiums fällt Ressels erster Versuch, die Schraube als Schiffsmotor anzuwenden; er soll bereits 1812 die Zeichnung einer Dampfschraube angefertigt und von glücklichem Erfolge begleitete Versuche angestellt haben. Das wäre denn in der That die erste Verwirklichung jener bedeutsamen Erfindung. Aber erst 1826 brachte er seine Ideen so weit zur Reife, daß Ausführbarkeit und Nachweis der Zweckmäßigkeit für entschieden gelten konnten. Ressel selbst, davon auf das vollste überzeugt, nahm 1827 ein Patent, fünf Jahre früher als Sauvage, und zehn Jahre früher als der Engländer

Smith, der schließlich allen beiden den Erfolg vorwegnehmen sollte. Schon 1829 fanden, unter Ressels Leitung und unter enthusiastischer Teilnahme der Bevölkerung, im Triester Hafen Prüfungsversuche mit einem nach seiner Angabe gebauten Schraubendampfer statt. Trotzdem der Erfolg ein glänzender gewesen war, wurde die Sache doch wieder vergessen, bis sie das Ausland endlich in energische Anregung brachte. Den Namen Ressel übersahen und verleugneten die Schiffstechniker, und erst die Überlebenden gaben ihm den wohlverdienten Ruhm, indem sie dem am 9. Oktober 1857 zu Laibach als k. k. Marine-Forst-Intendant Verstorbenen in Wien, nicht in Triest, wo sich schließlich kein Platz dafür fand, ein Denkmal setzten.

Später als Ressel und Sauvage trat Smith auf und baute, geschützt durch ein Patent vom Jahre 1835, nach denselben Prinzipien im Jahre 1837 seinen schon erwähnten „Infant Royal“. Es war dies ein Schiff von 10 m Länge, 6 Tonnen Tragfähigkeit, und hatte nur eine Sechs-Pferdekraftmaschine. Die Probefahrt gelang, aber das Mißtrauen der Marinebehörden trat der Neuerung als zähes Hemmnis entgegen. Erst im Mai 1838 ließ die Admiralität die Erfindung prüfen. Daraufhin bildete sich eine Gesellschaft „für die Fortbewegung mittels Dampfes“, welche die Smithschen Projekte in möglichster Ausdehnung ausführen wollte. Das erste größere Schiff, der „Archimedes“ (1838), hatte 240 Tonnen Tragfähigkeit. Die Probefahrten fielen auch hierbei wieder auf das günstigste aus, und der Marinekapitän Chapell, welcher zur Begutachtung beordert war, mußte die Bedingungen der Admiralität (4—5 Knoten, englische Meilen, oder eine geographische Meile in der Stunde) als übertroffen anerkennen, denn der „Archimedes“ legte 10 Knoten zurück und stellte sich mit dieser Leistung bereits den besten Schraubendampfern an die Seite. Er machte späterhin sogar viele Fahrten in noch kürzerer Zeit als diese. Im Juni 1840 ging er von Dover nach Calais, von Portsmouth nach Oporto, 800 englische Meilen; zu diesem Wege brauchte er kaum 70 Stunden. Er umschiffte ganz England, und diese Fahrt war für Smith ein Triumphzug, denn in allen bedeutenderen Häfen legte er an, und eine große Anzahl der hervorragendsten Ingenieure und Gelehrten erhielt so Gelegenheit, sich von der Vortrefflichkeit des Schraubenpropellers durch den Augenschein zu überzeugen.

In demselben Jahre lief das erste englische Schraubenschiff in den Triester Hafen ein und bereitete Ressel die Genugthuung, alle seine Voraussagungen bestätigt zu sehen. Wie schon erwähnt, wurde darauf im Jahre 1843 das erste französische Schraubenboot, der „Napoleon“, gebaut, und nun ging es rasch vorwärts. Bereits 1845 wagte man, eins der größten Dampfschiffe, den „Great Britain“, mit einer Maschine von 1200 Pferdekraft, durch eine Schraube in Bewegung setzen zu lassen. Nachdem die Schraube sich unzweifelhaft als gutes Triebmittel für Schiffe bewährt hatte, kam sie endlich auch bei Kriegsschiffen, für welche die gesicherte Lage dieses wesentlichsten Maschinenteiles von ganz besonderer Wichtigkeit ist, in Aufnahme. Sie gewährt aber hier auch noch den besonderen Vorteil, daß an den besten Plätzen, welche sonst von den Räderkästen weggenommen wurden, jetzt Kanonen stehen können.

Nach dieser geschichtlichen Betrachtung der Erfindung im großen Ganzen scheint es nicht überflüssig, in einigen Worten an die Entwickelung der Konstruktion des eigentlichen Propellers, der Schraube, einzugehen. Aus dem früher Gesagten ergeben sich als hauptsächliche Bedingungen einer möglichst großen Wirksamkeit: 1) eine breite Fläche, oder ein großer Durchmesser, welche den Widerstand einer großen Wassermasse zu überwinden hat und deswegen eher sich in derselben vorwärts bewegen soll, als daß sie dieselbe verdrängt; 2) eine angemessene Höhe der Schraubengänge, damit jede Drehung eine zur aufgewandten Kraft verhältnismäßig möglichst große Vorwärtsbewegung bewirke; und 3) eine entsprechende Zahl von Umdrehungen in der Minute. Alle diese Verhältnisse sind jedoch, weil sie in sich durcheinander bedingt werden, zumeist und am sichersten durch Versuche zu bestimmen.

Man gab dem Propeller beim „Archimedes“ die Form eines breitflächigen Schraubenganges, wie Fig. 29 zeigt. Seine Höhe a b betrug $2^1/_2$ m, der Durchmesser c d der Schraube $2^1/_6$ m, so daß die Fläche selbst bis an die Achse über 1 m breit war. Durch einen Zufall verkürzte sich aber die Schraube. Das Schiff fuhr nämlich an einer seichten Stelle auf den Grund und büßte die Hälfte des Schraubenganges ein, so daß es nur noch ein Stück wie c d e f behielt. Siehe da — es ging jetzt rascher als vorher.

Auf diese Erfahrung gestützt, gab man auch von nun an der Schraube nicht mehr einen vollen Umlauf, dafür aber zwei Gänge (Fig. 30 und 33). Sie lag am Hinterteil des Schiffes, vor dem Steuerruder, im sogenannten toten Holze, welches stets, wenn das Schiff schwimmt, unter Wasser ist. Die Welle wird durch die Dampfmaschine in rasche Umdrehung gesetzt. Beträgt das Vorwärtsgehen im Wasser auch nicht bei jeder Umdrehung so viel, als die Höhe eines Schraubenganges ausmacht, denn das Wasser ist nachgiebig und weicht dem Drucke der Schraubenflächen sowohl nach hinten als nach den Seiten aus, so wird doch immer etwas Fortrückung erreicht, und wenn man die Welle recht rasch gehen läßt, so summiert sich aus den vielen kleinen Wirkungen eine ansehnliche Gesamtwirkung. Die Schiffsschraube macht daher auch 100, 150 und selbst noch mehr Umgänge in der Minute.

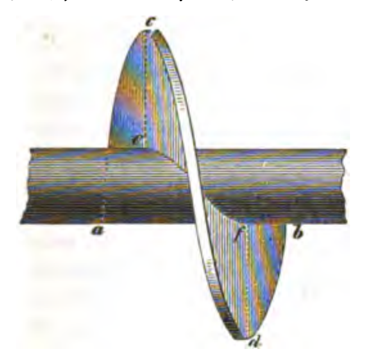


Fig. 29. Erste Form der Schiffsschraube.

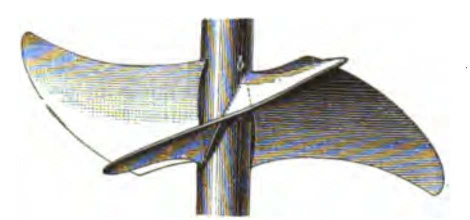


Fig. 31. Viergängige Schiffsschraube.

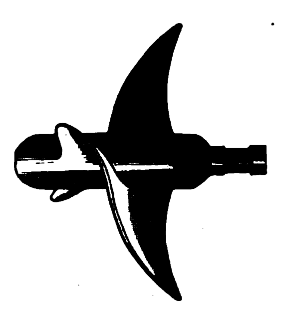


Fig. 30. Doppelgängige Schiffsschraube. Rennies Fischschwanzform.

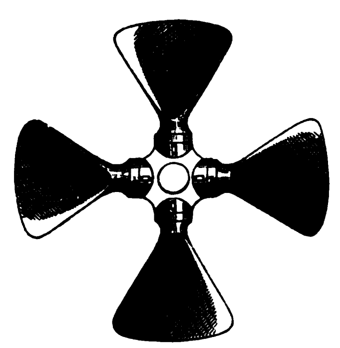


Fig. 32. Viergängige Schraube des „Great Britain“.

Weitere Versuche und Betrachtungen ließen es wahrscheinlich finden, daß auch nicht einmal ein halber Schraubengang notwendig sei. Man brachte daher nebeneinander vier Viertelumgänge an (s. Fig. 31 und 32), und bei der Schraube am „Great Britain“ erschienen dieselben nicht anders als vier in derselben Richtung gebogene Flügel, die auf einer gemeinschaftlichen Welle befestigt sind. Vergleicht man sie mit der Form des Fliegers (s. a in Fig. 25), so wird man eine vollständige Übereinstimmung finden. Mannigfache Vorschläge und Verbesserungen sind noch gemacht worden, auf die ausführlich hier einzugehen uns zu weit führen würde; sie beziehen sich sämtlich auf nichts weiter als auf verschiedene Neigung oder Größenverhältnisse der Flügel und geben in ihrem Prinzip durchaus nichts Neues. Nur des Napierschen Transversalpropellers sei vorübergehend gedacht, weil derselbe von den übrigen Konstruktionen insofern abweicht, als er in zwei großen räderförmigen Schrauben besteht, die nebeneinander oder hintereinander liegen und das Eigentümliche haben, daß sie zum Teil aus dem Wasser herausragen. Wir können ebensowenig auf die Details der praktischen Ausführung eingehen, bevor wir nicht die Dampfmaschine betrachtet haben. Hier ist unsre Aufgabe gewesen, das Geschichtliche darzulegen und die Theorie der Erfindung deutlich zu machen, und dafür möge das Gesagte genügen, zumal wir später noch Gelegenheit haben werden, auf eine nähere Betrachtung der Schraubenschiffe zurückzukommen.

Der Windmühlflügel. Wir wenden uns zu dem zweiten Gegenstande, dem nächsten Verwandten des Schraubenschiffes: der Windmühle. Wer die beiden Apparate nur oberflächlich betrachtet, dem werden sich jedenfalls viel eher die scheinbaren Gegensätze in ihrem Wesen aufdrängen, als die Übereinstimmung, die in der That in ihrem Prinzip herrscht. Tief unten im Wasser verborgen, und anderseits hoch und frei in den Lüften sich bewegend — rasch von Küste zu Küste durch alle Räume der Meere fliegend das eine, und festgebannt dagegen an einen Ort, unverrückbar das andre; von innen bewegt im ruhenden Elemente und dann wieder von dem strömenden Winde herumgetrieben, hier Bewegung empfangend und dort Bewegung erteilend — das alles scheint sich zu widersprechen, und doch einigt sich das Entgegengesetzte unter demselben Gesetz.

Wer hat eine Schiffsmühle gesehen? Man kann sie ungefähr einem Dampfschiff mit Schaufelrädern vergleichen, welches in einem heftig strömenden Flusse vor Anker liegt und dessen Räder durch den Anprall der Wassermassen in Umdrehung versetzt werden. Auf dem festen Lande würden wir statt der Wasserkraft die Kraft des Windes in ähnlicher Weise wirken lassen können, vorausgesetzt, daß man die eine — entweder die obere oder die untere Hälfte — der Schaufeln in einem Gehäuse vor dem Winde schützte, weil sonst die auf entgegengesetzte Drehung hinarbeitende Bewegung der Schaufeln sich aufheben und keinen Effekt weiter hervorbringen würde.

Eine solche Windmühle, die wohl auch hier und da ausgeführt worden ist, würde sich nun zu den gebräuchlichen Windmühlen genau so verhalten, wie ein Raddampfer zu einem Schraubendampfer. Der Bewegungsapparat der letztern liegt nicht mehr bloß bis zur Hälfte im Elemente (bei dem einen Wasser, bei dem andern Luft), sondern ganz, dafür aber wirkt die Kraft nicht senkrecht auf die Fläche der Flügel, sondern in geneigter Richtung, schief, nach dem Gesetze der schiefen Ebene.

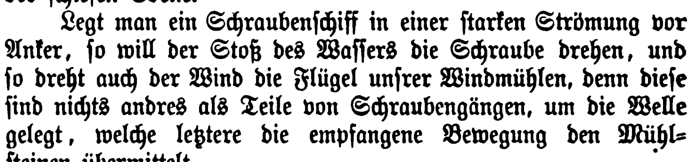
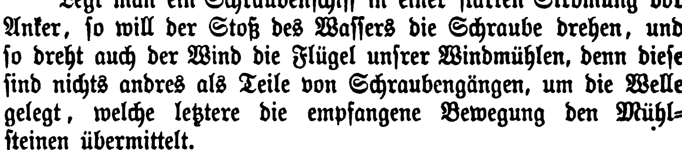
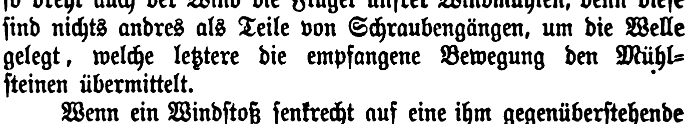




Fig. 33. Doppelgängige Schiffsschraube.

Legt man ein Schraubenschiff in einer starken Strömung vor Anker, so will der Stoß des Wassers die Schraube drehen, und so dreht auch der Wind die Flügel unsrer Windmühlen, denn diese sind nichts andres als Teile von Schraubengängen, um die Welle gelegt, welche letztere die empfangene Bewegung den Mühlsteinen übermittelt.

Wenn ein Windstoß senkrecht auf eine ihm gegenüberstehende Fläche trifft, wie das Wasser auf die Radschaufeln der Schiffsmühlen, so wird seine ganze Kraft eine Fortbewegung in seiner Richtung, in dem gewählten Falle eine Umdrehung des Rades um die Achse zu bewirken streben. Trifft er aber schief auf eine Fläche, so wird zum Teil seine Kraft abgleiten und nur ein je nach der Neigung mehr oder weniger großer Anteil davon einen senkrechten Druck auf die Fläche ausüben und, wenn dieselbe an einer Welle angebracht ist, auf Drehung hinwirken. Es läßt sich dies leicht durch eine Zeichnung, wie Fig. 34, welcher das Gesetz vom Parallelogramm der Kräfte zu Grunde liegt, nachweisen. AB soll, von oben gesehen, einen der Windmühlflügel bedeuten, welche an der Welle DE befestigt sind. Die letztere — nehmen wir an — sei in der Richtung des Windes, wie es ja gewöhnlich der Fall ist, gestellt, und es bezeichne ca also die Kraft des Windes, mit welcher dieser auf den Flügel drückt. Diese Kraft können wir uns aus zwei andern zusammengesetzt denken, von denen die eine senkrecht auf den Flügel, die andre aber in der Richtung seiner Fläche wirkt. Beziehentlich werden diese beiden Kräfte in Richtung und Größe durch die Seitenlinien des Parallelogramms, durch da und cd, dargestellt. Die letztere ist für die Windmühle ganz wirkungslos, denn sie gleitet an der Fläche der Flügel ab. Die erstere aber, welche senkrecht auf den Flügel drückt, sucht denselben zu drehen; zwar auch nicht mit der vollen Kraft, sondern wieder nur mit einem Teile, den wir auf dieselbe Weise der Zerlegung seiner Größe nach bestimmen können, wenn wir das Parallelogramm aefg konstruieren, worin ae = ac ist. Es drückt in demselben die Linie af denjenigen Teil der Kraft des Windes ac aus, welcher in der Richtung der Tangente senkrecht auf die Achse der Welle wirkt und

infolgedessen eine Drehung des Flügels um die Welle hervorzubringen strebt, während die andre rechtwinkelig darauf stehende Linie den in der Richtung der Welle wirkenden Teil a g den Druck, die Stauchung bedeutet, welche die Welle der Mühle durch die vom Winde zurückgedrückten Flügel erleidet.

Es leuchtet ein, daß man einen um so größern nutzbaren Effekt erreichen wird, je größer die Masse des Windes ist, den man zu arbeiten zwingt. Man hat daher frühzeitig schon die Einrichtung getroffen, die Fläche der Flügel aus mehreren Teilen zusammenzusetzen, welche sich herausnehmen und nach Belieben wieder einsetzen lassen. Häufig sind diese Fächer, Verkleidungen, aus Segeltuch hergestellt, öfter aber auch nur aus leichtem Spanwerk oder dichtem Rutengeflecht. Die Windmühlen, um auch schwache Luftströmungen möglichst ausnutzen zu können, sind derart gebaut, daß sie sich mit der Stirnseite dem Winde — er mag herkommen, woher er will — entgegenstellen lassen. Bei den älteren Konstruktionen wußte man dies nur dadurch zu erreichen, daß man das ganze Gebäude um einen Zapfen in der Mitte drehbar einrichtete. Es wurde dabei natürlich eine möglichst leichte Herstellung Bedingung, daher auch die früheren Windmühlen meist aus Holz gebaut sind. Erst bei den sogenannten holländischen Windmühlen, welche seit etwa 1650 gebaut werden, ist man von dem Prinzip ausgegangen, nur den obern Teil, welcher die Welle trägt, beweglich zu machen. Dadurch hat man den Vorteil erlangt, einen bei weitem dauerhafteren und zweckmäßigeren Mantel aus Mauerwerk um den inneren Apparat führen zu können. Die Zahl der Flügel beträgt gewöhnlich vier, bisweilen fünf, auch sechs oder sogar acht, indessen soll die größere Flügelzahl keine besonderen Vorteile gewähren.

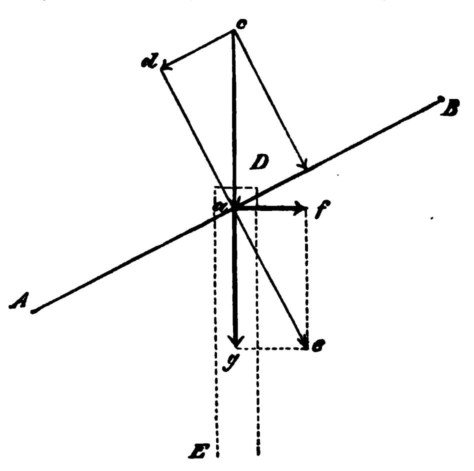


Fig. 34. Wirkung des Windes auf den Flügel der Windmühle.

Die Geschichte der Windmühlen ist, als die einer sehr alten Erfindung, die wohl in verschiedenen Gegenden auf ursprüngliche Weise gemacht worden sein kann, nicht sehr durchsichtig. Die meisten glauben, daß sie aus dem Morgenlande zu uns gekommen sind, wo der Mangel nutzbarer Wasserkräfte die Augen der Menschen auf den Wind als Kraftquelle hinlenken mußte. Hier waren sie schon im 9. Jahrhundert bekannt, und ein arabischer Reisender, Ibn Haukal, erwähnt ihrer, als in Sedschestan, am Ostrande des iranischen Hochlandes, in häufigem Gebrauch. Soviel scheint gewiß, daß die alten Römer, trotz ihrer Beziehungen zu Kleinasien, noch keine Windmühlen gekannt haben, und daß daher auch in dem Mutterlande diese Erfindung erst in eine spätere Zeit fallen muß.

Daß die Windmühlen durch die Kreuzfahrer nach Europa, 1040 nach Frankreich, gekommen seien, ist eine bloße Vermutung, die zwar manches Wahrscheinliche, aber nichts Erwiesenes hat. Erwähnt wird zum erstenmal eine Windmühle in einem Diplom vom Jahre 1105; vor dieser Zeit müssen sie demnach also doch schon in Frankreich bekannt gewesen sein. Von Frankreich kamen sie nach England, und es lassen sich hier die ältesten Spuren bis zum Jahre 1143 verfolgen. Im Jahre 1332 schlug Bartolomeo Verde den Venezianern die Errichtung einer Windmühle vor; 1393 soll in Spanien die erste gebaut worden sein. Die holländischen Windmühlen mit beweglichen Achsen und festem Gebäude wurden, wie gesagt, um die Mitte des 17. Jahrhunderts erfunden. Vor und nach dieser Zeit sind mancherlei Änderungen in der Anlage dieser Apparate gemacht worden, die uns hier, wo wir es zunächst nur mit der Theorie der Windmühlflügel zu thun haben, nicht weiter berühren. Mit der innern Einrichtung der Mühlen beschäftigt sich ein Kapitel des V. Bandes dieses Werkes; auf dasselbe verweisen wir diejenigen unsrer Leser, welche den eigentlichen Mahlapparat genauer kennen lernen wollen.

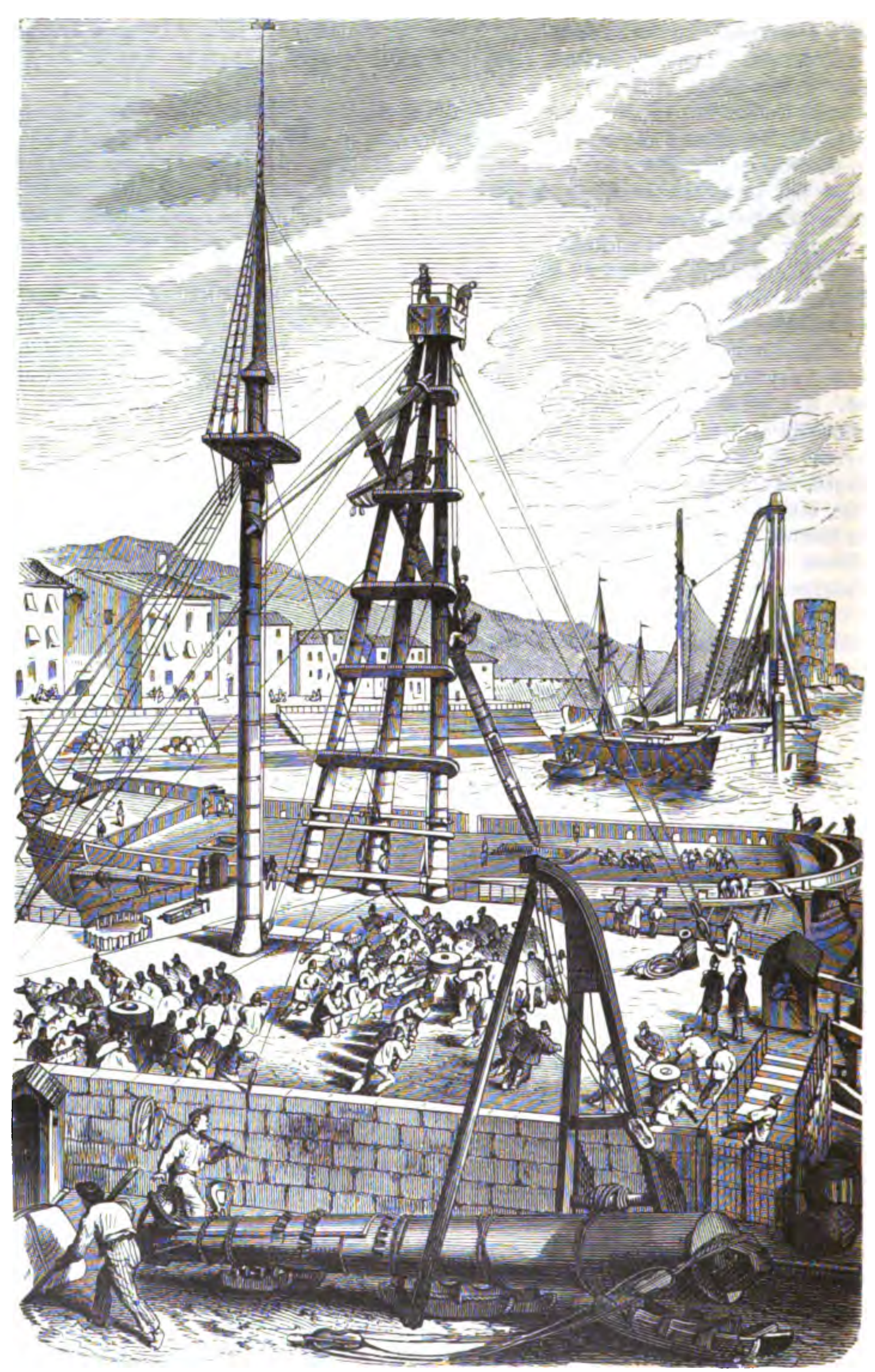


Fig. 35. Verladung von Gütern in einem Hafen (Hebelwirkungen).



Ewig wechselt der Wille, der Zweck und die Regel, in ewig
Wiederholter Gestalt wälzen die Thaten sich um.
Aber jugendlich immer, in immer veränderter Schöne
Ehrst du, fromme Natur, züchtig das alte Gesetz.

Schiller.

Hebel und Flaschenzug.

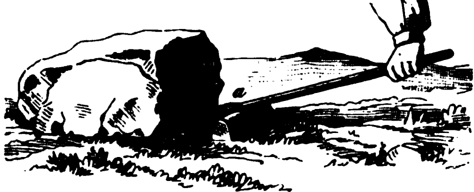
Kraftwirkung bei Errichtung alter Bauwerke. Der Hebel. Einarmiger, zweiarmiger Hebel. Anwendung und Wirkungsweise. Geschichte. Hebelade. Haspel. Rad an der Welle. Zahnräder und Getriebe. Schraube ohne Ende. Die Reibung. Rolle und Flaschenzug. Feste Rolle. Bewegliche Rolle. Flasche. Das Perpetuum mobile.

„Von diesem Steine kostet jedes Pfund vier Franken“, pflegten die Pariser zu Ende der dreißiger Jahre zu sagen, wenn sie einem Fremden den in der Mitte des Konkordienplatzes aufgestellten Obelisken von Luxor zeigten. Und diese vier Franken waren lediglich Transportkosten, denn der Obelisk selbst war ein Geschenk, das der Pascha Mehemed Ali dem König Louis Philipp gemacht hatte.

Jener Obelisk ist ein Monolith von mehr als 20 m Höhe, dessen viereckige Basis eine Breite von ungefähr 2 m hat. Nach obenhin verjüngt sich das Ganze, so daß die Grundfläche der kleinen Endpyramide nur noch $1^1/_2$ m breit ist. Das Gewicht beträgt gegen 250 000 kg und die Übersiedelung von Ägypten bis in den Hafen von Cherbourg (1831—1833) und von hier bis Paris und dann die Aufstellung, welche der mühsamen Vorarbeiten wegen erst 1836 erfolgen konnte, kosteten nicht weniger als 2 Millionen Franken. Solche Mühe machte der Transport eines einzigen Steines im 19. Jahrhunderte, wo man bereits die Ausnutzung der mechanischen Kräfte auf die höchste Stufe der Vollkommenheit gebracht hatte; in dem alten Ägypten aber sind von den Ptolemäern deren Hunderte errichtet worden. Der Obelisk von Luxor ist auch lange nicht der höchste, denn vor der Kirche des heiligen Johannes vom Lateran in Rom steht einer, der unter dem Kaiser Konstantinus II. aus Ägypten geholt worden ist, dessen Höhe 60 m und dessen Gewicht 650 000 kg beträgt.

Die meisten Obelisken schwanken in ihrer Höhe von 15—30 m. Jeder ist aus einem einzigen Stück hergestellt, das seine Bearbeitung in dem Steinbruche erhielt und von da oft viele Meilen weit bis zu dem Aufstellungsorte transportiert wurde. Und wenn wir die Pyramiden betrachten, deren eine, die des Königs Chufu, einen Inhalt von fast 3 Mill. cbm und danach ein Gesamtgewicht von ungefähr 12000 Mill. kg hat, und bedenken, daß sie aus Werkstücken aufgebaut worden sind, deren viele bis an 100000 kg wiegen, und daß diese Kolossalblöcke bis auf eine Höhe von gegen 150 m gehoben werden mußten, um die Spitze herzurichten — und uns fragen: auf welche Weise ist es möglich gewesen, vor nunmehr 5000 Jahren derartige Bauwerke zu errichten? so scheint uns auch die größte Zahl der Arbeiter und die längste Zeitdauer keine befriedigende Antwort darauf zu geben.

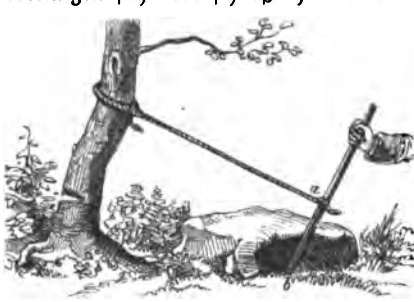
Die Kräfte von Menschen und Tieren vermögen vereinigt viel zu leisten, zu solchen Arbeiten aber war nicht nur eine große Kraftmasse nötig, sondern auch eine zweckmäßige Verwendung derselben.


Fig. 37. Zweiarmiger Hebel.

Es haben daher viele geglaubt und es ist oft behauptet worden, daß der merkwürdige Bildungsstand des alten Ägyptens auch im Besitze ganz besonderer und seitdem verloren gegangener mechanischer Kenntnisse gewesen sei. Das ist sicher nicht der Fall, und die mechanischen Apparate und Vorrichtungen, welche von den Erbauern der Pyramiden benutzt wurden, sind keine andern, als die auch uns bekannten, und merkwürdigerweise gerade die allereinfachsten, welche es überhaupt gibt.

Wir finden bei den Pyramiden von Gizeh noch Andeutungen des schiefen Dammes, auf welchem die in den östlichen Bergen gebrochenen Steine auf die 40 m hohe Felsterrasse geschafft wurden. Die ägyptischen Techniker benutzten die Gesetze der schiefen Ebene in ihrem Interesse. Weiterhin hatten sie noch Seile, Hebebäume, Rollen, sonst aber nichts, wenn wir nicht die absichtliche Benutzung der Reibung als etwas Besonderes ansehen wollen.

Alle die Maschinen, durch welche so wunderbare Werke hervorgebracht worden sind, vereinigen sich aber schließlich in einem einzigen Grundgesetze, in dem des **Hebels**, wie die zahlreichen Anwendungen der Schrauben u. s. w., die wir im vorigen Kapitel betrachtet haben, auf dem Gesetz der schiefen Ebene beruhen.


Fig. 38. Einarmiger Hebel.

Der Hebel. Ein Hebel ist nichts andres als ein um einen festen Punkt beweglicher Stab, welchen zwei Kräfte nach verschiedenen Richtungen um jenen Punkt zu drehen streben. Die eine (die bewegende) wollen wir kurzweg Kraft, die andre (die bewegte) Last nennen; dann stellt sich die Frage: unter welchen Verhältnissen sind Kraft und Last im Gleichgewicht? Die scheinbar naheliegende Antwort: wenn beide gleichgroß sind, würde in hundert Fällen kaum einmal richtig sein; denn es kommt nicht nur auf die Größe, sondern auch auf den Angriffspunkt, das heißt darauf an, wie weit dieser von dem **Drehpunkte** (oder dem festen Punkte) entfernt ist. Die Längen des Hebels, welche zwischen dem Drehpunkte und den Angriffspunkten der Kräfte liegen, heißen **Hebelarme**.

Ein Arbeiter will einen Stein um ein Stück vom Boden emporheben. Er schiebt eine eiserne Stange unter, welcher er durch den Klotz a (s. Fig. 36) eine Auflagerung gibt. Je näher er den Klotz an den Stein bringt, je näher also der Drehpunkt des Hebels an der Last liegt, um so leichter wird die Bewältigung der letzteren werden. Über einen gefällten Baumstamm liegt ein Balken mit seinen beiden Enden gleichweit herüber: eine herrliche Schaukel, die denn von zwei einander gleichgroßen Knaben bestiegen und herzhaft getummelt wird. Es bedarf für jeden nur eines geringen Stoßes, um hoch in die Luft empor zu

fliegen, denn das niedergehende Gewicht des andern hebt ihn. Da setzt sich aber auf das eine Ende noch ein Genosse und — beide bleiben am Boden, der dritte schwebt hoch in der Luft. Jetzt fällt ihnen ein, den Balken über den Stamm hinaus dem Einzelnen zuzuschieben, so daß dieser nun mit seinem Gewichte viel weiter vom Drehpunkt entfernt wirken kann. Er wird dann allerdings jene beiden auch emporschnellen, aber was sie so scheinbar an erleichtertem Kraftaufwande gewonnen haben, das setzen sie an Vergnügen wieder zu, denn sie müssen ihrerseits darauf verzichten, ebenso hoch wie der andre geschleudert zu werden.

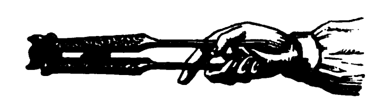


Fig. 39. Anwendung des einarmigen Hebels der ersten Art.

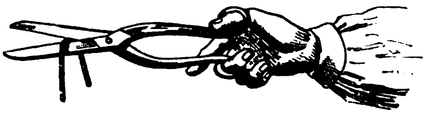


Fig. 40. Anwendung des zweiarmigen Hebels.

Diese Schaukel ist ein Hebel, und zwar liegen hier, wie bei der Brechstange, die Angriffspunkte von Kraft und Last auf entgegengesetzten Seiten vom Drehpunkte. Derartige Hebel nennt man **zweiarmige**, zum Unterschied von denen, wo (Fig. 37) Kraft und Last (a) auf derselben Seite vom Drehpunkte (b) aus liegen, und welche deshalb **einarmige** Hebel heißen. Die letzteren sind unter sich wieder verschieden, je nachdem die zu überwindende Last oder die bewegende Kraft zunächst am Drehpunkte ihren Angriff hat. Die Abbildungen Fig. 39, 40 und 41 geben zu dem Gesagten erläuternde Beispiele. Schubkarren, Ruder, Siedeschneiden, Korkpressen und ähnliche Vorrichtungen erweisen sich sämtlich bei genauerer Betrachtung als einarmige Hebel, bei denen die Last **zwischen** dem Drehpunkte und der Kraft liegt, während der Trittschemel des Spinnrades oder der Drehbank den Fall veraugenscheinlicht, wo die Kraft näher am Drehpunkte wirkt als die Last. Der Drehpunkt des Hebels, welchen das Trittbrett vorstellt, wird nämlich hier zur Drehachse hinter der Ferse, um welche jenes sich auf und nieder bewegt. Wir könnten Hunderte von Beispielen aus dem täglichen Leben nennen, begnügen uns aber, die Augen der Leser auf das Bild Fig. 36 zu lenken, wo das scheinbar Verschiedenartigste als Ausdruck desselben Gesetzes sich zeigt.

Fig. 41. Einarmiger Hebel der zweiten Art.

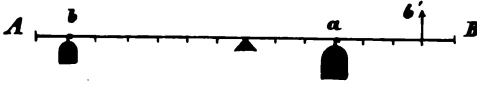


Fig. 42. Gesetz des Hebels.

Im Grunde basieren sämtliche Hebel auf einem ungemein einfachen Gesetze, das sich folgendermaßen aussprechen läßt: **Die an einem Hebel wirkenden Kräfte sind im Gleichgewicht, wenn die Produkte aus der Größe der Kraft und der Länge des Hebelarmes** (d. h. der Länge der Senkrechten, welche man vom Drehpunkte aus auf die Richtung der Kraft ziehen kann) **gleich sind.** Wenn also an dem Hebel AB (s. Fig. 42) eine Last von 6 kg wirkt in der Entfernung von 3 (Meter, Fuß, Zoll u. dergl.) vom

Fig. 43. Winkelhebel.

Drehpunkte, und es soll ihr auf der andern Seite durch eine Kraft von 3 kg das Gleichgewicht gehalten werden, so muß diese in einer Entfernung von 6 (Meter, Fuß, Zoll u. dergl.) angreifen. — Es ist dabei ganz gleichgültig, ob wir einen zweiarmigen oder einen einarmigen Hebel annehmen, denn die Kraft von 3 kg könnte der in a wirkenden Last von 6 kg auch auf derselben Seite (nach B hin) das Gleichgewicht halten, und sie würde ebenfalls in der Entfernung von 6 (Meter, Fuß, Zoll oder dergl.) in b' einzugreifen haben, nur müßte sie dann im entgegengesetzten Sinne wirken.

Soll nun der Hebel nicht nur im Gleichgewicht gehalten, sondern soll noch dazu eine Bewegung veranlaßt werden, so muß auf der Seite der Kraft ein Überschuß stattfinden. Es kann dann der ganz analoge Fall wie bei Anwendung der schiefen Ebene, des Keils, der Schraube u. s. w. eintreten, daß eine kleinere Kraft eine größere Last zwar bewegt; es wird aber der Weg, welchen die letztere zurücklegt, um so kleiner, je größer die Last selbst und je kürzer der Hebelarm ist, an welchem sie wirkt.

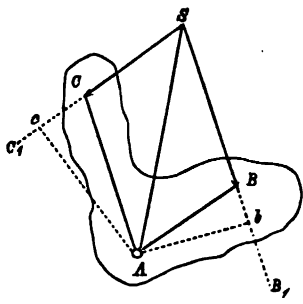
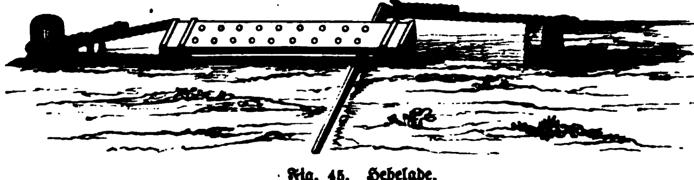


Fig. 44. Zum Beweise der Wirkungsweise des Hebels.

Diese Wirkungsweise des Hebels wurde schon von Archimedes erkannt; derselbe versuchte auch, sie auf mathematische Art zu beweisen. Indessen ist dies in voller Strenge weder ihm noch denjenigen, welche sich bald nachher mit dem Problem beschäftigt haben, gelungen. Erst der Mathematiker de la Hire und unabhängig von ihm Kästner haben den Beweis mit der nötigen Schärfe geführt. Folgende ist eine der einfachsten Beweisführungen: Wirken auf einen Körper, der sich um eine Achse in A (Fig. 44) drehen kann, in einer Normalebene zur Achse die Kräfte B und C in den Richtungen BB_1 und CC_1, so muß für den Gleichgewichtszustand, nach dem auf Seite 21 mitgeteilten Satz vom Parallelogramm der Kräfte, ihre Mittelkraft SA durch die Drehachse A gehen. Das Kräfteparallelogramm ABSC wird durch seine Diagonale SA, welche die Mittelkraft von SB und SC ist, in die gleichen Dreiecke ASB und SAC geteilt. Fällt man nun die Lote Ab und Ac auf die Kraftrichtungen, so hat man in ihnen die Höhen der beiden Dreiecke, deren Grundlinien die die Kräfte B und C darstellenden Strecken SB und SC sind. Da nun der Inhalt eines Dreiecks gleich dem halben Produkt aus Grundlinie und Höhe ist, so ist $SB \times Ab = SC \times Ac$, d. h. die Produkte aus den Kräften und ihren Hebelarmen sind einander gleich, wobei jedoch unter Hebelarm die aus der Drehachse auf die Kraft gefällte Lotrechte verstanden wird.


Fig. 45. Hebelade.

Die Zeit, zu welcher die Gesetzmäßigkeit der Wirkung und deren mathematische Begründung erkannt worden ist, das ist fast das Einzige, wonach die Geschichte bei einer Maschine fragen kann, welche, wie den Hebel, jedes Kind bereits unbewußt in Gebrauch nimmt. Erst die komplizierteren Einrichtungen verlangten ein gewisses Nachdenken, und wenn sie uns auch jetzt noch so nahe liegend scheinen, so gewähren doch in der Kindheit der Völker Sage und Mythe den Urhebern eine dankbare Erinnerung.

Die Griechen hielten dafür, daß Kinyras, ein König auf der Insel Cypern zur Zeit des Trojanischen Krieges, den Hebebaum erfunden habe. Zur Zeit des Thukydides also hätten sie nur den einfachen Hebel gekannt. Indessen ist dies cum grano salis zu verstehen. Man wird im Altertum unbewußt, so gut wie jetzt, eine Menge der verschiedensten Anwendungen gemacht haben. — Von Archimedes wird erzählt, daß er dem König Hieron eine Vorrichtung gezeigt habe, mittels deren ein großes Schiff durch einen einzigen Druck der Hand von der Stelle bewegt werden konnte. Als der König über diese wunderbare Wirkung sein Erstaunen äußerte, vermaß sich Archimedes sogar zu der viel citierten Äußerung:

„Gib mir einen Standpunkt, und ich will die Erde aus ihren Angeln heben.“ Ob er dabei Hebelvorrichtungen im Sinne hatte, wie sie jedenfalls, wenn die ganze Geschichte wahr ist, seiner Maschine zu Grunde lagen, das wollen wir dahingestellt sein lassen.

Soviel ist gewiß, daß alltäglich in der Technik zahllose Kraftäußerungen hervorgebracht werden, welche das Gesetz vom Hebel auf irgend eine Weise illustriren. Was wir auch immer thun wollen, wir gebrauchen dazu unsre Muskeln, und diese wirken an den Fingern, Zehen, Händen, Füßen, Armen, Beinen und allen andern Organen wie Kräfte, die bald an einem einarmigen, bald an einem zweiarmigen Hebel angreifen. Selbst im Innern unsres Ohres vermittelt eine wunderbar feine und — wenn das Wort erlaubt ist — über alles geistreiche Hebelvorrichtung die Bewegungen, welche das Trommelfell durch die Schallschwingungen erleidet, der Gehörflüssigkeit, in welcher die Gehörnerven endigen. — Der Hebel ist eine Elementarmaschine, welche in der praktischen Mechanik so ausgedehnte Anwendung findet, daß manche sehr kunstvoll und verwickelt erscheinende Maschinen im Grunde doch fast nur aus Hebelvorrichtungen verschiedener Art zusammengesetzt sind.



Fig. 46. Rad an der Welle.

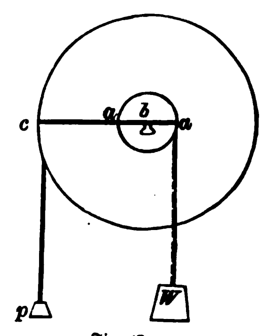


Fig. 47. Zur Theorie des Rades an der Welle.

Wir haben bisher fast immer angenommen, die Richtungen der an einem Hebel wirkenden Kräfte seien senkrecht auf die Richtung der Hebelarme, und in diesem Falle wirkte die ganze Kraft auf Drehung des Hebels. Ist jedoch die Kraft schief gegen den Hebelarm gerichtet, so wirkt sie nur zum Teil auf Drehung, zum andern Teil auf Zug oder Druck; sie zerlegt sich gewissermaßen in zwei Kräfte, von denen die eine senkrecht gegen den Hebelarm gerichtet ist, die andre dagegen, welche auf Zug oder Druck arbeitet, in ihrer Richtung mit der Richtung des Hebelarmes zusammenfällt. Die letztere kommt zu keinem sichtbaren Effekt. Die Größe der auf Drehung wirkenden Kraft findet man nach dem Parallelogramm der Kräfte, wenn man die schief angreifende Kraft als Diagonale ansieht und dazu die beiden Seiten konstruiert, von denen die eine in der Richtung des Hebelarmes liegt, die andre darauf senkrecht steht. Die Größe des Effektes dieser letzteren Kraft, das Produkt aus ihr und der Länge des Hebelarmes, findet man auch, wenn man für die gegebene schief angreifende Kraft als Hebelarm die

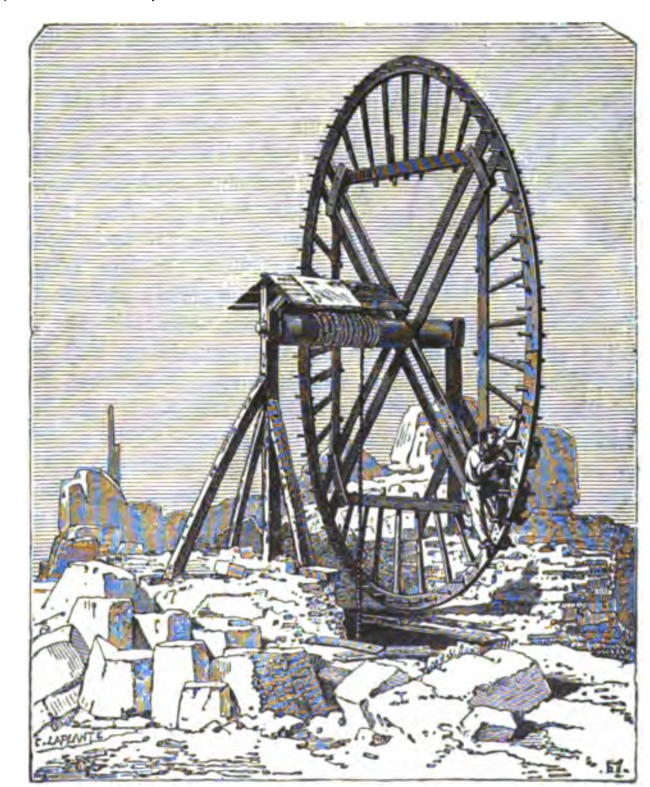


Fig. 48. Tretrad.

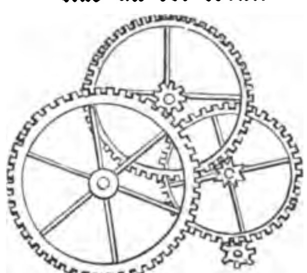
Länge der Senkrechten nimmt, die sich aus dem Drehpunkt auf die Kraftrichtung fällen läßt. — Es kommt auch nicht darauf an, daß die Hebelarme eine gerade Linie bilden, sie können wie Fig. 43 gebrochen oder gebogen sein; ein solcher Hebel heißt dann ein Winkelhebel, für ihn gelten dieselben Gesetze. Die Kraft wirkt, als ob sie an einem Hebelarm angriffe, dessen Länge durch die Senkrechte auf die Kraftrichtung bestimmt wird.

In der Praxis kann man große Lasten mit dem Hebel bewegen, aber immer nur auf geringe Entfernungen, und muß dann entweder dem Drehpunkt eine andre Lage geben oder für den Hebel selbst einen neuen Angriffspunkt suchen. In den sogenannten Hebeladen geschieht dies auf mannigfach verschiedene Weise.

Wie alt diese Vorrichtungen sind, von denen uns Fig. 45 eine vor Augen führt, läßt sich ebenso schwierig bestimmen, wie die Erfindungszeit andrer so einfacher Maschinen. Sie werden zuerst von französischen Schriftstellern um das Jahr 1634 unter dem Namen Levier san fin erwähnt, dürften aber zu derselben Zeit wohl auch schon in Deutschland bekannt gewesen sein, wenigstens ist in einem Buche von 1651 („Mathematische Erquickstunden") bereits eine Abbildung davon enthalten.

Eine kontinuierliche Wirkung des Hebels kann man erreichen, wenn man denselben an einer drehbaren Welle anbringt; Göpel, Haspel u. s. w. zeigen eine solche Anordnung. Jede Kaffeemühle hat in ihrer Kurbel einen kontinuierlich wirkenden Hebel. Legt man statt eines Armes deren mehrere an die Welle, so entstehen Vorrichtungen, wie die Hornhaspel und die Winden sind, welche in der Praxis eine ausgedehnte Verwendung finden.

Rad an der Welle. Das ausgezeichnetste Beispiel eines kontinuierlichen Hebels aber ist das Rad an der Welle oder das Wellrad, welches uns die Figuren 46 und 47 in seiner einfachsten Form darstellen. Es besteht aus weiter nichts als aus einer drehbaren Welle und einer daran befestigten Scheibe, welche zusammen sich um ihre Achse in Zapfenlagern drehen. Um den Umfang der Scheibe oder des Rades ist ein mit seinem einen Ende festgemachtes Seil geschlungen, ein andres ist ebenso an der Welle befestigt. Das erstere dient der bewegenden Kraft zum Angriff und wickelt sich von dem Rade ab, während das letztere die Last trägt, und indem es sich auf die Welle aufwickelt, dieselbe in die Höhe hebt. Eine andre Angriffsweise der Kraft zeigt uns Fig. 48; hier ist es nicht ein Zug mittels eines Seiles ausgeübt, der die an der Welle angehängte Last bewegen soll, vielmehr wirkt hier die Schwere des Menschen, welcher durch unausgesetztes Aufwärtssteigen an dem Umfange des Rades dasselbe unter seinen Füßen wegschiebt. Solche Treträder lassen sich in verschiedener Art, auch zum Betriebe durch tierische Kraft, ausführen. In bezug auf die Leistung tritt nun bei dem Rade an der Welle genau derselbe Fall ein, als ob Kraft und Last an einem zweiarmigen Hebel wirkten, dessen beide Arme beziehentlich die Länge der Halbmesser b a und b c hätten (Fig. 47). Soll das Gewicht W an der Welle durch die Kraft p am Rade im Gleichgewicht gehalten werden, so kann die letztere um so viel kleiner sein, als der Halbmesser der Welle kleiner ist gegen den Halbmesser des Rades.


Fig. 49. Umsetzung der Zahnräder.

Wenn wir die Seillängen vergleichen, von denen die eine sich bei dieser Arbeit vom Rade ab-, die andre auf die Welle aufwickelt, so finden wir einen großen Unterschied, und zwar hat die Last einen kleineren Weg zurückgelegt als die Kraft. Die Wege oder die Seillängen verhalten sich genau umgekehrt wie Kraft und Widerstand. Der Satz von dem umgekehrten Verhältnis der Kräfte zu ihren Hebelarmen läßt sich daher auch so aussprechen: bei den einfachen Maschinen sind die Produkte aus den wirkenden Kräften und den von ihnen zurückgelegten Wegen gleich den Produkten aus Last und Weg. Ein Gewicht von 10 kg wird mittels des Wellrades durch ein Gewicht von 1 kg gehoben; es muß dann das kleinere also 10 m fallen oder 10 m Seil abwickeln, wenn das größere um 1 m steigen soll. Diese naturgemäße Abhängigkeit begründet uns die Wirkungsweise aller mechanischen Vorrichtungen. Nicht nur aber in den einfachen Maschinen des Hebels, der schiefen Ebene — denn auch auf diese läßt sich jener Satz erläuternd

zurückbeziehen — des Rades an der Welle und, wie wir gleich sehen werden, der Rolle und des Flaschenzuges u. s. w. treffen wir denselben in erster Reihe geltend; er wird uns ebensowohl ein Schlüssel sein, der uns das Gebiet der Hydraulik eröffnet; ja in weitester Anwendung vermag er uns überall einzuführen, wo Bewegung herrscht, und die reizvollen Wirkungen anmutiger Musik wie der Lauf der Gestirne spiegeln dieselbe Regel.

Deswegen schien es uns geboten, diese Regel mit einer gewissen Ausführlichkeit zu besprechen. Der Nutzen wird leicht klar werden. Man sehe eine der komplizierten Maschinen an, ein Uhrwerk, einen Automaten oder dergl.: die Kraft — mag sie durch Wärme in einem Dampfcylinder entwickelt werden, oder mag sie von einer gespannten elastischen Feder ausgehen, muß durch zahlreiche ineinander greifende Maschinenteile übertragen werden, damit ihre ursprüngliche und sich immer wiederholende geradlinige oder kreisförmige Bewegungsweise den planmäßigen Gang der Maschine hervorrufe. Der Kolben einer Schiffsmaschine geht auf und nieder, aber das durch ihn bewegte Boot geht wie ein vernünftiges Wesen zwischen Klippen und Sandbänken seinen sichern Lauf — das Steuerruder wirkt dabei als ein großer einarmiger Hebel.

In Maschinenwerkstätten werden Bohrmaschinen, Hobelbänke, Nutmaschinen, Blechscheren, gewichtige Hämmer, Pumpen, Aufzüge, kurz alle Vorrichtungen, welche Bewegung verlangen, durch ein einziges Wasserrad oder eine einzige Dampfmaschine in Betrieb gesetzt und alle die unzähligen verschiedenen Effekte hervorgerufen durch scharfsinnige Anwendungen und Kombinationen von Hebeln, die in der verschiedensten Form bald in ihrer einfachsten Gestalt als Gestänge, bald als Zahnräder oder Exzentriken auftreten. Nehmen wir zum Hebel noch die schiefe Ebene und einige Seilvorrichtungen, so haben wir die einfachen Grundformen der meisten Maschinen, welche rein mechanisch wirken. Diese beiden zuletzt genannten unterliegen aber, wie schon erwähnt, in ihrer Leistung demselben Grundsatze, welcher uns an der Wirkungsweise des Hebels klar geworden ist, wenn er in bezug auf letzteren auch nur als Ausfluß eines höheren und allgemeineren Gesetzes zu gelten hat, dessen Darlegung an dem Parallelogramm der Kräfte wir oben, auf Seite 56, entwickelt haben. Es ist der Grundsatz, daß mit derselben Kraft zwar verschiedene Lasten gehoben oder Widerstände überwunden werden können, daß aber entsprechend einer Vergrößerung der Last die Geschwindigkeit, mit der ihre Bewegung erfolgt (der Weg, den sie zurücklegt), sich verringert und umgekehrt. Zwei ineinander greifende Zahnräder oder Getriebe sind wie ein Rad an der Welle, und die Umsetzung der Kraft und Geschwindigkeit folgt bei beiden demselben Gesetz. In Fig. 49 sei das linke Rad direkt durch eine Kraft bewegt, welche durch die eingreifenden Getriebe die andern beiden Räder in Umdrehung versetzen soll. Da die kleinen Getriebe nur acht Zähne haben, während der größere Radumfang deren immer 48 hat, so wird das mittlere Rad sechs Umdrehungen, das rechte 36 und das letzte kleine Getriebe gar 216 Umdrehungen machen, wenn das linke einmal umläuft. Allein abgesehen von dem Verlust, den die Reibung bereitet, würde bei dieser gesteigerten Geschwindigkeit die Kraft von dem Getriebe aus nur mit dem 216. Teile derjenigen Kraft wirken, welche an dem gleichen Umfange des Hauptrades wirkt.

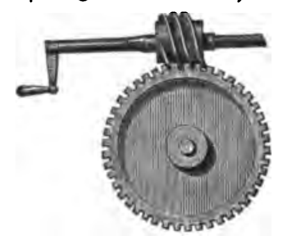


Fig. 50. Schraube ohne Ende.

Die schon erwähnte Verbindung der Schraube mit dem Zahnrade, die sogenannte Schraube ohne Ende, zeigt uns Fig. 50. Wird nähmlich die Schraube gedreht, wie es die Kurbel andeutet, so greifen die einzelnen Gänge, welche genau den Abstand zweier Zähne zu ihrer Höhe haben, zwischen diese Zähne ein und es erfolgt dadurch ein allmähliches Fortschieben derselben und ein langsamer, sehr regelmäßiger und ruhiger Gang des Rades. Bei jeder Umdrehung faßt die Schraube einen neuen Zahn. Aus dieser langsamen und stetigen Übertragung würde man schließen dürfen, daß sich mittels dieser Vorrichtung mit einer sehr geringen Kraft ein sehr bedeutender Effekt erzielen lasse. Das ist auch der Fall und es werden demzufolge auch kräftig wirkende Hebezeuge mit Schraube ohne Ende vielfach benutzt. Mit größtem Vorteil wendet man letztere aber da an, wo eine Bewegung in eine bedeutend langsamere, dafür aber sehr regelmäßige umgesetzt werden

soll, wie es beispielsweise bei den Einstellungen von optischen Instrumenten, Fernröhren, Mikroskopen u. s. w. vorkommt.

Die **Reibung** spielt in allen Maschinen und überall da, wo in der Natur Bewegung herrscht, eine so große Rolle, daß es wohl hier am Platze sein dürfte, ihrer Betrachtung einige Aufmerksamkeit zu schenken. Sie ist ein Widerstand, den jeder bewegte Körper zu überwinden hat, solange man nicht in der Natur einen vollständig leeren Raum annehmen kann. Aber obwohl ein Widerstand, ist sie doch notwendig zum Bestehen der irdischen Verhältnisse. Man denke sich die Reibung hinweg, und kein Knoten würde mehr halten, denn daß die beiden Teile des Bandes sich miteinander verknüpfen lassen, beruht auf der Reibung, die zwischen ihnen besteht. Und was ist ein Netz, das der Fischer strickt, oder ein Strumpf, den unsre kunstvollen Maschinenstühle wirken, andres als ein einziges, wenn auch kompliziertes System von lauter Knoten!

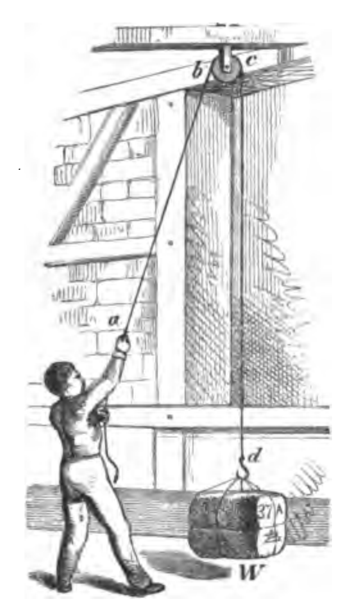


Fig. 51. Feste Rolle.

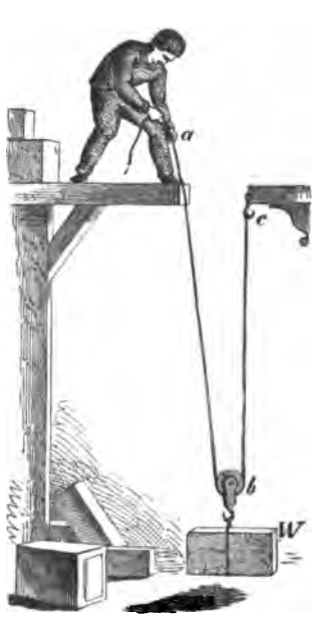
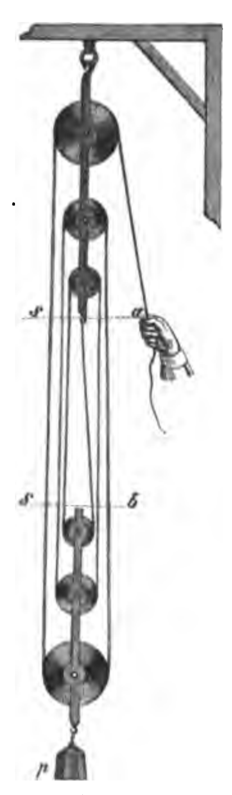


Fig. 52. Lose Rolle.

Ohne Reibung würde die Kunst der Strickerei nur sehr mangelhafte Erzeugnisse liefern — filzartige Stoffe wären gar nicht möglich, sie müßten denn wie das Papier geleimt werden, und selbst die Gewebe würden ihre Dichte verlieren. Kein Nagel, keine Schraube würde Halt geben, die Stecknadeln wären noch gar nicht erfunden, denn ihre Nutzbarkeit gründet sich lediglich auf die Reibung. Durch die Reibung haften unsre Füße beim Gehen an den Boden; wäre sie nicht vorhanden, so würden wir uns mit unsrer Fortbewegung in noch viel schlimmerer Lage befinden als auf einer eingeölten Spiegelscheibe. Auf jeder geneigten Fläche müßten wir hinabgleiten und auf der horizontalen würden wir uns nur an festen Wänden fortziehen können. Daß ein Eisenbahnzug die geringste Steigung nur überwinden könnte, wäre für sich schon unmöglich — der Fortbewegung von Lasten gar nicht zu gedenken. Kommt es doch so schon vor, daß sich die Räder der Lokomotive in der Luft drehen, ohne von der Stelle zu kommen, wenn die Schienen mit Glatteis bedeckt sind, oder sonst eine Zufälligkeit die gewöhnliche Reibung vermindert hat, und es ist ein wesentlicher Grund, warum man die Dampfwagen von so großem Gewichte macht, weil man die zur Fortbewegung der Räder unumgängliche Reibung nicht unter einen gewissen Grad hinabgehen lassen darf.

Die Reibung macht es, daß unsre Erde uns das Bild eines von fruchtbarem Grün überkleideten Geländes gewährt. Denn in ihrer Folge bleibt Schutt, Gerölle, bleiben die

Überreste der verwitterten Gesteine auch an den geneigten Flächen liegen, es kann sich eine fruchtbare Erde bilden, auf der sich das organische Leben entwickelt. Wenn die Reibung nicht existierte, würde die geringste Abweichung von der Horizontalebene alles, auch das geringste Stäubchen hinabschießen machen, bis ein wallartiges Hindernis ein Aufstauen der gleitenden Massen bewirkte. Alles Lose würde die Beweglichkeit strömender Wassermassen erlangen, die immer nach der Tiefe zu streben. Solchergestalt würde die Oberfläche der Erde lauter glatte geneigte Flächen mit treppenartig sich übereinander aufbauenden horizontalen Absätzen zeigen, auf denen allein sich pflanzliches und tierisches Leben entwickeln könnte, soweit es nicht den fortwährenden Überschüttungen unterläge und soweit die Verteilung des Wassers, welche natürlich eine ganz andre sein würde als jetzt, die nötigen Vorbedingungen gewährte. Flüsse und Bäche, wie sie jetzt unsre Fluren durchziehen, gäbe es nicht, in wenig Minuten würde der Regentropfen, der auf dem Gipfel des höchsten Berges niederfällt, das Ufer des im Thalgrunde sich sammelnden Sees erreicht haben. Die Folgen sich alle auszudenken, welche sich ergeben würden, wenn die Reibung aufhörte, heißt ebensoviel, als das Buch unsrer Natur Blatt um Blatt zerreißen.



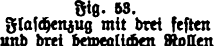


Fig. 53.
Flaschenzug mit drei festen und drei beweglichen Rollen.



Fig. 54.
Flaschenzug mit nebeneinander stehenden Flaschen.

In den am häufigsten vorkommenden Fällen kann man sich von der Reibung die Vorstellung machen, daß die kleinen Unebenheiten, Erhöhungen und Vertiefungen zweier durch die Schwere oder sonst durch einen Druck aneinander gepreßten Körper häkchenartig ineinander greifen und das Gleiten der Oberflächen aufeinander hindern. Entweder müssen nämlich die Häkchen dabei abgebrochen oder verbogen werden, oder aber der gleitende Körper muß gewissermaßen über jene Unebenheiten hinweggehoben werden. Je größer daher der Druck, das Gewicht ist, um so bemerklicher wird dieser Widerstand. Durch die Schmiermittel werden die Furchen, welche auch der sonst bestgeglättete Körper immer noch besitzt, ausgefüllt und die Oberflächen nähern sich vollkommen ebenen Flächen, deren Gleitung aufeinander natürlich den geringsten Widerstand findet. Nur kommt hier wieder der Umstand in Betracht, daß, je glätter die Oberflächen sind, an je mehr Punkten also gegenseitige Berührung stattfindet, um so größer auch die Abhäsion wird, und wenn die Größe der gleitenden Fläche auch keinen Einfluß auf den Kraftverlust durch die Reibung hat, so gilt dies betreffs des Widerstandes, den die Abhäsion verursachte, nicht. Indessen ist der letztere sehr gering und nur mehr von theoretischem Interesse. Die Reibung ist zwischen verschiedenen Materialien verschieden. Holz, Metall, Glas u. s. w. geben verschiedene Widerstände. Es besteht aber für je zwei von ihnen immer ein festes Verhältnis derart, daß, wenn auf einer horizontalen Unterlage, welche aus dem einen der beiden Stoffe bestehen soll, eine Last, deren untere gleitende Fläche aus dem andern Stoffe gebildet ist, um einen gewissen Weg fortgeschoben werden soll, dazu ein Kraftaufwand nötig wird, der immer einem bestimmten Teile der Kraft entspricht, welche nötig wäre, um die Last denselben Weg in die

Höhe zu heben. Dieses gleichbleibende Verhältnis heißt der Reibungskoeffizient. Für Eisen auf Eisen ist derselbe z. B. 0,277, d. h. um auf einer völlig horizontalen Unterlage von Eisen eine Last fortzuschieben, deren reibende Fläche ebenfalls aus Eisen besteht, ist so viel Kraft nötig, als erforderlich wäre, um 0,277 der Last denselben Weg in die Höhe zu heben. Eichenholz auf Kiefernholz hat einen Reibungskoeffizienten von 0,667. Die sogenannte rollende Reibung, der eben betrachteten gleitenden gegenübergestellt, wie sie ein über eine Fläche laufendes Rad erfährt, ist bei weitem geringer, weil man die kleinen feilenartigen Unebenheiten nicht abzuschleifen braucht, da der Körper sich ihretwegen auch nicht höher hebt, denn sie greifen nur wie die Zähne zweier Räder ineinander und verlassen einander wieder durch die eigne Rotierung der Körper.

Luft und Wasser leisten Reibungswiderstand und verursachen den darin sich bewegenden Körpern Verzögerung, weil sie in ihrem Zusammenhange gestört und verdrängt werden, und selbst der durch den Weltraum verteilte, überaus feine Äther macht sich in dieser Weise durch die Einflüsse, welche er auf die Bahn und Geschwindigkeiten der wenig dichten, aber großen Raum ausfüllenden Kometen ausübt, geltend.

Die **Rolle und der Flaschenzug** sind die nächsten Beispiele, an denen uns die fruchtbare Anwendung des am Hebel entwickelten Gesetzes der Abhängigkeit von Kraft und Geschwindigkeit gegenübertritt. Die Rolle ist eine kreisförmige Scheibe, durch deren Mitte ein Zapfen geht. Dieser Zapfen kann entweder fest mit der Rolle verbunden sein, und er dreht sich dann zugleich mit ihr in einem Lager, oder aber die Rolle sitzt locker auf ihm. Die Rolle dient in ihrer einfachsten Gestalt, wo sie mit ihrem Lager fest an einem unbeweglichen Ort angebracht ist, dazu, um einer Kraft eine zweckmäßigere Richtung zu geben. Ein Arbeiter kann eine Last, wenn sie an ein Seil befestigt, mit Hilfe einer Rolle, über welche dasselbe gelegt wird und erstere in die Höhe windet, viel bequemer auf die Höhe eines Gerüstes befördern, als wenn er die Baustücke die Leiter hinauftragen soll. Zur Aufnahme des Seiles hat die Rolle an ihrem Umfange eine Auskehlung. Wenn die Last W in Fig. 51 von d nach c gehoben werden soll, so muß die ganze Seillänge d c, welche genau so groß ist wie jener Weg, durch die an a wirkende Kraft abgewickelt werden. Die Kraft, welche an einer festen Rolle wirkt, muß also eben so groß sein, wie die Last, der sie das Gleichgewicht halten soll. Anders ist es mit den beweglichen Rollen. Dieselben sind nicht mit dem Aufhängepunkte, sondern mit der Last fest verbunden und nehmen an der Bewegung der letztern teil (s. Fig. 52). Die Schnur hängt mit ihrem einen Ende fest bei c, während ihr andres (a) von dem Arbeiter heraufgezogen und dabei die Last W mit bewegt wird. Wenn dieselbe bis zur Höhe a gehoben werden soll, so hat der Arbeiter bei a die ganze Seillänge a b c heraufzuziehen, die Kraft hat also einen doppelt so langen Weg zurückzulegen wie die Last. Daraus folgt, daß eine gewisse Kraft mittels einer losen Rolle zwar eine doppelt so große Last bewegen kann, daß sie dafür aber auch doppelt so viel Zeit braucht, als wenn sie mit derselben Geschwindigkeit an einer festen Rolle wirkte. Wenn die beiden Seilrichtungen nicht eine parallele, sondern gegeneinander geneigte Lage haben, so ändert sich dies Verhältnis, wie leicht einzusehen ist, dahin, daß die aufzuwendende Kraft um so größer werden muß, je stumpfer der Winkel wird, in welchem die beiden Richtungen aufeinander stoßen.

Durch zweckmäßige Kombination beweglicher und fester Rollen kann die mechanische Wirksamkeit sehr bedeutend gesteigert werden; derartige Vorrichtungen sind die sogenannten Flaschenzüge. Man nennt nämlich „Flasche“ eine Vereinigung zweier oder mehrerer Rollen in einem Gehäuse. Eine der einfachsten Formen des Flaschenzuges ist in Fig. 53 dargestellt. Bei demselben sind zweimal je drei Rollen miteinander fest verbunden, allein nur das eine System ist unbeweglich an dem Aufhängungspunkte befestigt, während das andre als untereinander zusammenhängende, lose Rollen sich mit der Last bewegt, die an der untersten der Rollen hängt. Wenn die Last von b nach a gehoben werden soll, so muß, wie aus der Betrachtung der Zeichnung leicht hervorgeht, eine Seillänge abgewickelt werden, welche genau so lang ist, wie die sechs zwischen den punktierten Linien sa und sb liegenden Seilstücke; es stößt s an s, b an a u. s. w. Durch diese ganze Länge wirkt also die Kraft; sie hat einen sechsmal größeren Weg zurückzulegen, als der ist, um welchen die Last gehoben

wird, und nach dem am Hebel erlernten Gesetz der Abhängigkeit von Kraft und Weg muß man demnach mit dem sechsten Teile der Kraft auskommen, welche an einer einzigen festen Rolle nötig wäre, um die Last zu heben. Ein andres Arrangement eines zweiten genau in derselben Weise wirkenden Flaschenzuges zeigt Fig. 54.

Die beschriebenen Vorrichtungen zur Umsetzung mechanischer Kräfte, ausgenommen die Schraube ohne Ende, kannten die Alten schon; ihre großartigen Bauwerke sind häufig unter Anwendung der wirkungsvollen Flaschenzüge ausgeführt worden, deren Erfindung einige mit Unrecht meist dem Archimedes zuschreiben wollen. Die neuere Mechanik ist bei den einfachen Maschinen in der klaren Erkenntnis der Gesetze, welche deren Kraftleistungen zu Grunde liegen, weit fortgeschritten. Beschäftigte noch im vorigen Jahrhundert der Gedanke des Perpetuum mobiles die Mechaniker, sah man in der Herstellung mechanischer Kunstwerke, welche die Bewegungen belebter Wesen auszuführen vermöchten, eine nützliche Aufgabe, weil man hoffte, auf demselben Wege auch dahin zu gelangen, nicht nur die Kraft ohne Verlust zu fortdauernder Wirkung zu bringen, sondern sie aus sich selbst erzeugen zu lassen, so hat dieser unklaren Auffassung jetzt die sichere Behandlung der Aufgaben nach den wissenschaftlich erkannten Gesetzen Platz gemacht.

Wie man nun durch mechanische Umsetzungen die eine Kraftwirkung nicht vergrößern kann, da man das, was man an Kraft gewinnt, an Zeit verliert, so gewinnt man auch nichts, wenn eine Kraftmodalität in eine andre, Wärme z. B. in mechanische Kraft oder in Elektrizität u. s. w., übergeführt wird. Wir wissen, daß ein Pfund Kohle ein- für allemal dieselbe Wärmemenge entwickelt, welche ihrerseits wieder unter allen Umständen quantitativ denselben mechanischen Effekt leistet, wenn sie vollständig zu einem solchen verbraucht wird, und ebenso, wenn wir eine bestimmte Kraftmenge durch den ganzen Zirkel der physikalischen Kräfte hindurch verwandeln könnten, ohne durch Leitung und Strahlung während dieses Prozesses unwiederbringliche Verluste zu erleiden, daß wir schließlich immer nur dasselbe Quantum, von dem wir ausgegangen, wieder erhalten würden. Nun hält es freilich der Laie mitunter noch für möglich, gänzlich neue Naturkräfte zu entdecken — eine eitle Hoffnung, die aber selbst, wenn sie sich realisieren könnte, das Perpetuum mobile deswegen doch noch nicht möglich machen würde. Denn die neuen Kräfte müßten demselben Gesetz unterliegen, welches eine gegebene Menge Wärme in eine gewisse, aber immer gleichbleibende Menge Elektrizität oder in eine ebenso unveränderlich bleibende Menge Licht u. s. w. verwandeln läßt, die alle einem und demselben mechanischen Arbeitseffekt entsprechen. Diese mechanische Äquivalenz ist für jede Kraft ein unumstößliches Gesetz, welches auch gelten würde, wenn eine neue Modalität der Kraft oder, wie der Laie meint, „eine neue Naturkraft, von der wir noch keine Ahnung haben“, plötzlich aufträte.

Was für eine Kraft wir nun also auch immer annehmen wollen — mit einem gewissen Quantum davon können wir einen gewissen Widerstand besiegen, aber auch nicht mehr. Wir können damit eine Bewegung unterhalten, die um so länger andauern wird, je geringer der Widerstand ist, dessen Überwindung fortwährend an der Kraft zehrt und diese endlich ganz aufzehren muß, wenn er fortbesteht. Für alle irdischen Fälle und wahrscheinlich auch für alle kosmischen ist ein solcher immerfort bestehender Widerstand schon die Reibung. Infolge derselben wird die mechanische Kraft zwar nicht vernichtet, aber doch in Wärme umgewandelt, welche für die Arbeitszwecke des Perpetuum mobiles niemals in vollem Umfange wieder gewonnen werden kann. Und diese Reibung fehlt nie, weil nie der Druck fehlt, den alle der Schwere unterworfenen Körper auf ihre Unterlage ausüben. Könnte man daher auch gröbere Hindernisse, wie z. B. den Luftwiderstand, beseitigen, so würde in der Anziehung der Erde doch eine Ursache der Reibung herrschend bleiben, welche man zwar bis auf ein Minimum verringern, aber doch nie völlig unschädlich zu machen vermag.

Diese Reibung ist es, welche jedes sogenannte Perpetuum mobile schließlich zum Stillstande bringen muß, gerade wie die kosmischen Bewegungen, welche die sinnlich wahrnehmbare Welt ausmachen, auch einst zur Ruhe kommen müssen durch den endlichen Ausgleich der Temperaturdifferenzen im Weltall.

Nun gibt es noch eine andre Klasse von Apparaten, welche eine unausgesetzte Bewegung zeigen, aber nur infolge kleiner Impulse, die der Mechanismus unausgesetzt durch

eine von außen wirkende Kraft erhält. In dem nie rastenden Temperaturwechsel, in dem Wechsel des Luftdrucks, in dem Fallen der Regentropfen, in dem Fließen der Bäche, dem Wehen des Windes sind natürliche Kraftäußerungen genug gegeben, um einem Mechanismus von Zeit zu Zeit so viel lebendige Kraft mitzuteilen, daß er so lange in Bewegung bleiben konnte, bis ihm ein neuer Impuls auf dieselbe Weise wieder zu teil wurde. Mit diesen Hilfsmitteln aber eine Einrichtung zustande zu bringen, welche in fortgesetzter Bewegung bleibt, ist kein Kunststück. Wir werden später bei der Betrachtung der Zambonischen Säule einen solchen Apparat kennen lernen. Jede Barometersäule, jedes Thermometer würde in diesem Sinne ein Perpetuum mobile sein, und die älteren Physiker gebrauchten in der That den Ausdruck Perpetuum mobile physicum für die Bezeichnung eines solchen Apparates, indem sie ihn damit von dem Perpetuum mobile mechanicum unterscheiden wollten, dessen Wesen darin bestehen sollte, durch sich selbst, also ohne äußeren Kraftzufluß, nicht nur seine Bewegung zu erhalten, sondern daraus auch noch womöglich einen Kraftüberschuß zu beliebiger Verwendung hergeben zu können.

Die Geschichte dieser mechanischen Thorheit weist eine große Anzahl von Fällen auf, in denen die Erfindung vermeintlich geglückt sein sollte und deren jeder die Gemüter aufs neue erregte, bis er sich entweder als ein Betrug oder als eine Selbsttäuschung des Erfinders herausstellte. Wie unklar die Ansichten betreffs der hier in Frage kommenden physikalischen Verhältnisse waren, beweist das Gutachten einer Gelehrtenkommission (Acta eruditorum, Leipzig 1715), welches sich über ein von Orfeyrey (Beßler) erfundenes Perpetuum mobile ausspricht und den Apparat wirklich als ein solches erkannte. Jetzt wissen wir, daß es weder ein mechanisches noch ein physikalisches Perpetuum mobile geben kann, daß keine Bewegung ewig dauern kann und daß noch weniger durch bloße Umsetzung Kraft gewonnen werden kann.

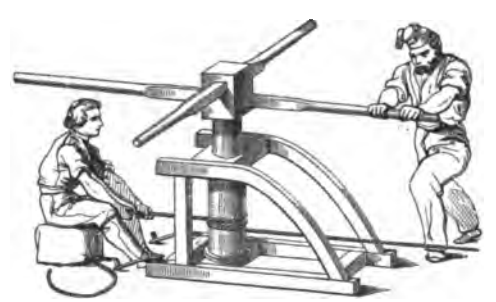
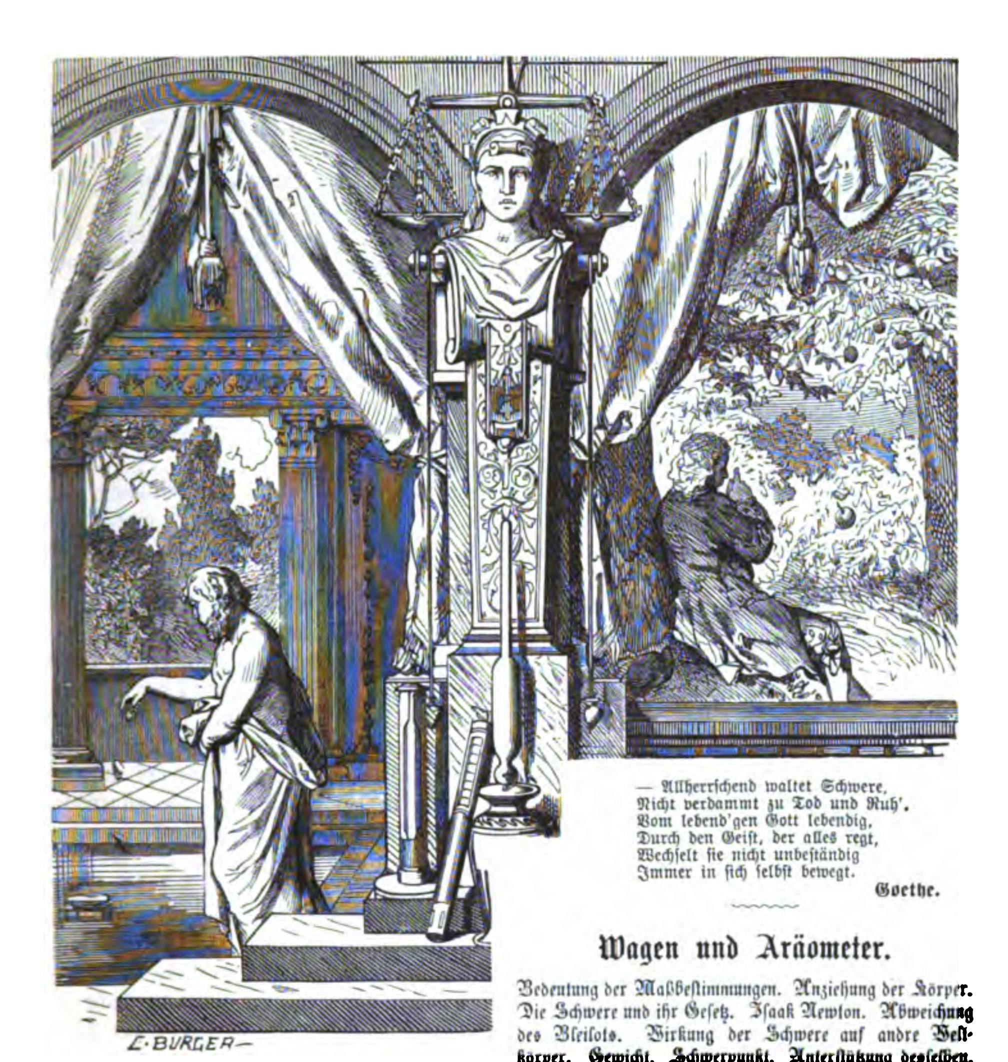


Fig. 55. Haspel mit aufrecht stehender Welle.



— Allherrschend waltet Schwere,
Nicht verdammt zu Tod und Ruh',
Vom lebend'gen Gott lebendig,
Durch den Geist, der alles regt,
Wechselt sie nicht unbeständig
Immer in sich selbst bewegt.

Goethe.

Wagen und Aräometer.

Bedeutung der Maßbestimmungen. Anziehung der Körper. Die Schwere und ihr Gesetz. Isaak Newton. Abweichung des Bleilots. Wirkung der Schwere auf andre Weltkörper. Gewicht. Schwerpunkt. Unterstützung desselben. Wagen und ihre Geschichte. Ausführung der Wagen. Schnellwage. Briefwage. Brückenwage und ihre Einrichtung. Die chemische Wage. — Das spezifische Gewicht und seine Bestimmung bei festen und flüssigen Körpern. Vom Schwimmen. Aräometer, verschiedene Arten und verschiedene Systeme der Einteilung.

Die Naturwissenschaften, die förderndsten Mächte für die Entwickelung der Menschheit in den letzten zwei Jahrhunderten, haben ihre großartigen Erfolge fast lediglich der Anwendung richtiger Meßmethoden zu verdanken. Nicht Begeisterung, nicht berauschende Bilder der Phantasie, nicht die Gewährung überreicher Mittel, die überraschende Anschauung fremder, üppiger Landschaften, haben einen gleichen Teil an den Triumphen der exakten Forschung, wie ihn der verständige Gebrauch von Maßstab und Zirkel, Wage und Gewicht sich zuschreiben darf. Die genauesten Winkelmessungen erst geben dem Astronomen das Fundament für seine wunderbaren Berechnungen; der Physiker mißt, daß der Lichtstrahl in der Sekunde einen Raum von gegen 41000 Meilen durchläuft, und doch sind auch seine Apparate und Methoden genau genug, um die kleinsten Entfernungen sicher bestimmen zu lassen; er mißt noch die Länge der Lichtwellen und bestimmt ihre Unterschiede, welche kaum den hunderttausendsten Teil eines Zolles betragen.

Die Luft, die du atmest, wägt der Chemiker; er wägt sie wieder, wenn du sie ausatmest, und sagt dir, um wieviel du während dieser Zeit Stoff zum Leben verbraucht hast.

Wieviel Sauerstoff im Rosthauch des Stahles enthalten ist, zeigt seine Wage. Sie ist das Instrument, dessen Ausbildung und zweckmäßige Anwendung den alten verkehrten Theorien den Todesstoß versetzt hat.

Schwere. Die Wage dient bekanntlich, das Gewicht der Körper zu bestimmen. Es ist eine allgemeine Eigenschaft der Körper, nicht nur der irdischen, sondern, wie wir aus unzähligen und unwiderleglichen Beobachtungen schließen können, aller körperlichen Bestandteile der Welt überhaupt, daß sich die kleinsten Teilchen ihrer Materie, die Atome, gegenseitig anziehen. Dies Bestreben nähert die Atome einander, es erhält die festen Körper in ihrer Form und ist die Ursache der kugelförmigen Gestalt, welche wir an jedem Tropfen beobachten, in welchem sich die Teilchen ungehindert gruppieren können. Denn da die Anziehung nach allen Seiten hin eine gleichgroße ist, so ist es natürlich, daß die Anordnung in völlig gleicher Weise um denjenigen Punkt stattfinden muß, von welchem aus wir die aus den einzelnen Kräften zusammengesetzte Resultierende wirkend denken können. Dieser Punkt wird stets zum Mittelpunkt der sich bildenden Kugel werden.

Unsere Erde hat, wie wahrscheinlich alle Weltkörper, im Laufe ihrer Bildung eine Periode durchzumachen gehabt, wo sie ebenfalls in flüssigem Zustande, als eine feurig geschmolzene Masse, durch den ewigen Raum sich bewegte. Aus dieser Zeit ist ihr die Kugelgestalt geblieben.

Die Anziehung, die von den kleinsten Teilchen ihrer Materie ausgeht, wirkt daher auch als eine gewaltige resultierende Kraft vom Mittelpunkte aus. Wir nennen sie die Schwerkraft oder die Schwere. Alles, was im Weltall Körperliches existiert, ist dieser Kraft unterworfen, übt sie aber auch ebenso selbständig aus. Die Schwere ist der untrennbare Geist der Materie. Wie sie den ersten Keim des Lebens beeinflußt, so hält sie die letzte Wache am Bette des Todes. Über alle Grenzen irdischen Seins hinaus schuf sie den harmonischen Gang der Welten; sie ist es, die ihn erhält. Wenn die Schwere aufhört, wenn die Materie ihre anziehende Kraft verloren hat, ist der große Tod, die allgemeine Gleichheit in der Welt, nichts außer Raum und Zeit, Grenzenloses und Ewiges.

Wie das Kind nicht darüber nachdenkt, daß es Tag und Nacht wird, und der rohe Mensch die Sonne als ein selbstverständlich Ding betrachtet, so hatte bis in das 17. Jahrhundert die Menschheit in dem unerschöpflichen Reichtum von Erscheinungen, welche die Schwerkraft hervorruft, noch keine Veranlassung gefunden, über die allgemeine Ursache nachzudenken. Zwar hatte schon im 15. Jahrhundert Vincenz von Beauvais behauptet, daß, wenn ein senkrechter Schacht durch den Mittelpunkt der Erde bis zur Oberfläche der andern Hemisphäre reichen würde, jeder hineingeworfene Stein im Centrum zur Ruhe kommen müsse und nicht seinen Fall zu den Antipoden fortsetzen könne; aber erst Newton brachte in diese Vorstellungen vollkommene Klarheit. Sein großartiges Genie knüpfte die Gedanken an den fallenden Apfel, der neben ihm auf den Boden aufschlug, und ging mit seinen Schlüssen zurück, weiter und weiter, bis er, der Erste der Sterblichen, endlich der letzten Ursache, der Schwere, gegenüberstand. Hatte Galilei bereits den sinn- und verstandeslosen Nachbetern der aristotelischen Naturlehre durch die unbezweifelbaren Ergebnisse seiner Experimente mit frei fallenden Körpern einen tödlichen Stoß versetzt, so warf Newton das alte morsche Gebäude vollends über den Haufen. Mit seinem großen Vorgänger teilt er den Ruhm, die neuere mathematische Physik begründet zu haben.

Isaak Newton ist zu Woolstorp in der Grafschaft Lincoln (England) am Weihnachtstage 1642 geboren. Seine mathematische Bildung erhielt er auf der Universität Cambridge, welche er 18 Jahre alt bezog und wo sich der gründliche Barrow seiner annahm. Hier schon soll er die Erfindung der Differential- und Integralrechnung gemacht haben, und kurze Zeit darauf, als ihn die Pest vertrieben und er zu einem ländlichen Aufenthalte nach Woolstorp zurückgegangen war, fand er 1665 das Gesetz der allgemeinen Anziehung der Körper, welches auf der Erde uns am augenscheinlichsten in der Schwere entgegentritt. Die Zerlegung des weißen Sonnenlichtes in die prismatischen Farben folgte, und als er 1669 den Lehrstuhl seines Lehrers Barrow bestieg, hatte er der Welt drei der eminentesten Gedanken, die je gedacht worden sind, bereits geschenkt. Wir können von dem großen Manne, dessen Leben übrigens weniger reich an hervortretenden Ereignissen als an

bedeutenden Thaten war, an dieser Stelle keine ausführliche Biographie geben; es muß uns genügen, die Blicke der dankverpflichteten Nachwelt auf einen ihrer edelsten Vorläufer zurückzulenken. Hochbetagt starb Newton am 20. März 1727, nachdem er die letzte Zeit seines Lebens sich von jeder wissenschaftlichen Arbeit fern gehalten. Er hatte aber Leistungen hinter sich, zu denen sich ganze Generationen von Mittelmäßigkeiten nicht aufzuschwingen vermögen.

Newton fand aus der Anwendung seiner Schlußfolgerungen auf die Keplerschen Gesetze, daß die Bewegungsart der Planeten der Einwirkung der Sonne, ihrer Anziehung, zuzuschreiben sei. Er fand ferner, daß die Schwerkraft mit der Entfernung abnimmt; je näher dem Zentrum, um so stärker wird ihr Einfluß; je weiter davon entfernt, um so mehr schwächt sich derselbe. Für unsre gewöhnlichen Beobachtungen freilich ist der Unterschied, den die Entfernung hervorbringt, so gut wie nicht vorhanden, er zeigt sich aber dem Astronomen in den Störungen, welche die Annäherung der Gestirne aneinander, und so auch die Annäherung der Erde an Planeten und Kometen hervorruft.

Derartige Störungen durch die Massenanziehung, welche in einer wenn auch noch so geringen Hinneigung der Bahnen zu einander, in einer Verzögerung oder Beschleunigung ihrer Geschwindigkeiten erkannt werden, haben ja einen vorher noch gar nicht bekannten Planeten, den Neptun, durch Rechnung am Himmel finden, ja seinen Ort und seine Größe bestimmen lassen, ehe ihn ein menschliches Auge gesehen hatte.



Fig. 57. Isaak Newton.

Die Intensität der Anziehung und somit auch die Intensität der Schwere nimmt umgekehrt mit dem Quadrate der Entfernung ab, so daß sie bei Vergrößerung der Entfernung zweier anziehender Massen um das Doppelte nur noch den vierten Teil der früheren Anziehung beträgt.

Die Richtung der Schwerkraft nach dem Mittelpunkt der Erde deutet das herabhängende Bleilot, jeder fallende Körper an. Auch sie ist für uns so gut wie unveränderlich, so daß bei der großen Oberfläche und der geringen Krümmung der Erde die Pendelrichtungen untereinander als parallele Linien angesehen werden, wenn sie nicht zu weit voneinander abstehen. Feineren Beobachtungsmethoden entgeht jedoch der Einfluß nicht, den die Unregelmäßigkeit der Erdoberfläche auf die Richtung der Schwere ausübt. Da die Körper untereinander dieselbe Anziehung gegenseitig ausüben, so haben sie auch das Bestreben gegenseitiger Annäherung. Der fallende Regentropfen zieht die Erde mit derselben Kraft an, wie die Erde ihn. Allein mit dieser Kraft vermag wohl die ungeheure Masse unsres Planeten die kleine flüssige Kugel in Bewegung zu setzen, nicht aber umgekehrt, und daher kommt es, daß alle zur nahen Erde in ungleichem Größenverhältnis stehenden Körper dieser zufallen, während sie selbst den von allen Seiten einwirkenden minutiösen Schwerkräften eine unerschütterliche Ruhe entgegensetzt. Nur große, isoliert stehende Berge, welche mit ihrer Masse allein und von einer einzigen Seite auf das Lot einwirken können, vermögen eine merkbare Abweichung in der Richtung desselben herbeizuführen. In solchen Fällen zeigt dann der Faden nicht genau die Senkrechte; allein es bedarf immerhin der genauesten Meßmethoden, um die Größe des Abweichungswinkels zu bestimmen.

In der physischen Geographie hat der Berg Shehalien in Schottland eine Berühmtheit dadurch erlangt, daß seine Einwirkung auf die Abweichung des Bleilots genau gemessen und danach das Gewicht der Erde bestimmt werden konnte. Denn dadurch, daß man die Masse jenes regelmäßigen Berges sehr genau zu schätzen im stande war, daß man seine Dichtigkeit aus der gleichmäßigen Beschaffenheit seines Gesteines zu berechnen vermochte,

konnte man zunächst sein ungefähres Gewicht in Kilogrammen angeben, und da der sichtbare Einfluß auf die Richtung der Schwerkraft das Verhältnis der beiden anziehenden Massen, Berg und Erde, zu berechnen erlaubte, so mußte sich zuletzt das Gewicht der Erde durch ein einfaches Regelbetri-Exempel ergeben.

Die Sonne mit einem Volumen, welches anderthalbmillionenmal größer ist als das der Erde, wirkt auf alle Körper auch mit entsprechend größerer Anziehung. Ein silberner Thaler würde dort, um in die Höhe gehoben zu werden, eine Kraft verlangen, mit welcher wir auf der Erde ein Pfund heben, denn die Schwere zieht auf der Sonne über 28mal stärker als bei uns. Falls daher auf einem so großen Weltkörper organisierte Wesen leben sollten, müßten dieselben ganz anders eingerichtet sein als die irdischen Kreaturen. Eine Last von 2000 kg würde hier den stärksten Mann zerquetschen, auf der Sonne dagegen trüge jeder einigermaßen ausgewachsene Mensch in seinem eignen Körper ein so großes Gewicht mit herum. Wer nicht im stande wäre, mit jedem Fußaufheben mehr als 250 kg in die Höhe zu ziehen, der könnte dort keinen Schritt gehen. Dagegen würde auf dem Monde auch dem allerschwächsten der Menschen das Gehen ein leichtes Tänzeln sein, weil die viel geringere Masse dieses Trabanten nur eine Anziehung ausübt, welche kaum den sechsten Teil von der Schwerkraft der Erde beträgt.


Fig. 58. Unterstützung des Schwerpunktes einer regelmäßigen viereckigen Tafel.

Der Schwerpunkt. Wie bei der großen Erde sich die kleinen anziehenden Kräfte der Atome zu einer mächtigen Gesamtkraft addierten, und diese Resultierende von einem einzigen Punkte ihre Wirkung ausübte, so auch bei jedem andern Körper, mag derselbe dem Zuge folgen können oder nicht. Wir nennen diesen Punkt der vereinigten Anziehungskräfte den Schwerpunkt. Er liegt bei allen regelmäßig geformten Körpern, wenn sie eine gleichmäßige Beschaffenheit ihrer Substanz besitzen, in dem eigentlichen Mittelpunkte, zu dessen Auffindung einfache geometrische Konstruktionen führen (Fig. 58). Bei komplizierten, unregelmäßigen Körpern oder solchen, welche im Innern Partien von verschiedener Dichtigkeit haben, läßt er sich durch Probieren herausfinden; ein an einem Faden aufgehangener Körper richtet sich so, daß sein Schwerpunkt genau unter den Aufhängungspunkt zu liegen kommt. Durch eine einmalige Aufhängung erfährt man daher die Richtung, in welcher der Schwerpunkt in dem betreffenden Körper zu suchen ist; wiederholt man die Aufhängung, so daß man einen andern Punkt zum Aufhängungspunkte macht, so wird man eine zweite Richtungslinie bestimmen können, und der Punkt, wo diese beiden Linien sich schneiden, muß der Schwerpunkt selbst sein.


Fig. 59. Genügende Unterstützung des Schwerpunktes.

Soll ein Körper dem Zuge der Schwere nicht folgen, so muß er entweder durch Aufhängung oder durch Unterstützung seines Schwerpunktes daran gehindert werden. Der Knabe, welcher einen Stab auf seiner Fingerspitze balanciert, unterstützt den Schwerpunkt in einem einzigen Punkte. Das fortwährende Schwanken beweist aber, daß diese Unterstützung eine ziemlich unzureichende ist, weil der geringste Stoß, ein Luftzug u. dergl. ein Fallen bewirken kann. Mehr Sicherheit hat schon der Mensch, der auf seinen zwei Füßen die schwere Last des Körpers trägt; aber daß auch eine Unterstützung von zwei Punkten nicht immer genügend ist, fühlen wir, wenn wir Stelzen unter unsre Füße schnallen; dadurch verlegen wir den Schwerpunkt des Ganzen weiter in die Höhe, und zugleich nimmt uns die geringere Grundfläche der Stelzenstangen die Standfestigkeit; das Stehen ist erschwert und nur durch fortwährendes Balancieren im Gehen erhalten wir uns oben. Um einen Körper ganz fest zu stellen, müssen wir denselben mindestens an drei nicht in einer geraden Linie liegenden Punkten, innerhalb deren die Schwerlinie herabgeht, unterstützen. Der

Schuhmacher sitzt auf seinem dreibeinigen Schemel ganz sicher. — Drei Unterstützungspunkte geben einem Körper einen ebenso festen Halt, wie ihn eine Dreiecksfläche gewähren würde, welche durch jene drei Punkte bestimmt wird.

Ein Wagen (Fig. 59) kann sehr schief stehen, ohne daß er umwirft; dies geschieht erst, wenn die Schwerlinie nicht mehr die durch die Räder bezeichnete Unterstützungsfläche trifft. Wer hat nicht von den schiefen Türmen zu Pisa und Bologna reden hören, jenen merkwürdigen Gebäuden, welche man zu kuriosen steinernen Einfällen mittelalterlicher Baukünstler hat machen wollen, die mit der Schwerkraft spielten, ehe die Welt einen Einblick in das volle Wesen derselben hatte? Unsre Abbildung Fig. 59 gibt uns eine Ansicht der beiden Bologneser Türme, von denen der kleinere, nach seinem Erbauer Garisenda (1112) genannt, eine Höhe von etwa 40 m und eine Abweichung von der Senkrechten um mehr als 2 m zeigt; der größere, Asinelli, 85 m hoch, hängt um 1 m über. Wahrscheinlich ist aber, wie wir nach der Art ihrer Konstruktion annehmen dürfen, die schiefe Stellung dieser sowie die ihres aus sieben Stockwerken bestehenden und 48 m hohen Nebenbuhlers zu Pisa, nicht eine ursprüngliche Absicht jener Architekten, sondern vielmehr nur die Folge lokaler Bodensenkungen, denen die ausgezeichnete Festigkeit des Baues Widerstand zu leisten vermochte. Wenn die Türme nicht mitten auseinander brechen, so können sie sich noch bei weitem mehr neigen, ehe sie in die Gefahr kommen zu fallen.

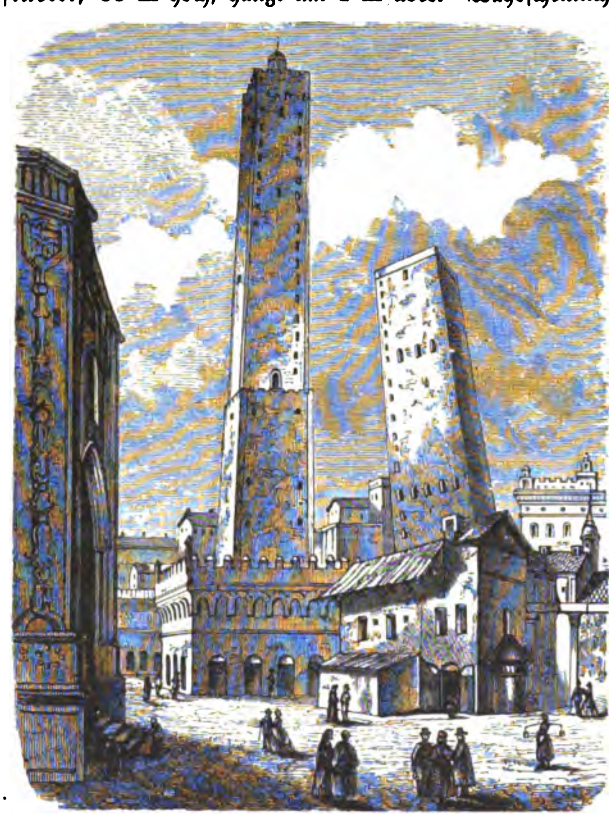


Fig. 60. Die schiefen Türme Bolognas.

Gewicht und Wage. Wenn die Schwerkraft freibewegliche Körper nach dem Mittelpunkt der Erde zu bewegt, dieselben zum Fallen bringt, so wirkt sie nicht minder auch auf alle andern, welche diesem Zuge nicht Folge leisten können. Ein Stein, der vorher von einem Turme herabfiel, ist dadurch, daß er nun ruhig auf dem Boden liegt, nicht der Anziehung entrückt. Er wird vielmehr noch genau mit derselben Stärke von ihr erfaßt, und die Unterlage, welche seine Weiterbewegung hindert, empfindet dies als einen Druck, den der Stein auf sie ausübt. Wir nennen die Größe dieses Druckes der Körper auf ihre Unterlagen oder, was gleichbedeutend ist, die Größe des Zuges an ihren Aufhängungen, das Gewicht der Körper. Dasselbe ist bei den verschiedenen Körpern ganz verschieden, denn da dasselbe aus der Zusammensetzung der anziehenden kleinen Kräfte der Atome hervorgeht, so muß es um so größer sein, je größer die Anzahl der letzteren ist.

Diese Beziehungen haben in den frühsten Zeiten bereits dahin geführt, das Gewicht der Körper als einen Maßstab zur Beurteilung der Menge ihrer Substanz anzusehen und Instrumente und Methoden zu erfinden, um dieses Gewicht bestimmen zu können. Die darauf bezüglichen Apparate sind eben die Wagen. Wer ihr erster Erfinder gewesen — diese Frage aufzuwerfen wäre thöricht. Sie bieten sich in ihrer ursprünglichen Einfachheit

so von selbst und ohne weiteres dem Bedürfnis dar, daß die Anwendung ihres Prinzips mehr als das Ergebnis eines allgemeinen Bildungszustandes anzusehen ist, denn als die glückliche, vorausgreifende Idee eines einzelnen. Bei den Griechen wurde zwar der Achiver Phidon für den Erfinder der Gewichte gehalten, während Gellius den Palamedes nennt und die Chinesen als solchen Hiene-Juene verehren; allein wenn dies auch wörtlich verstanden werden könnte, so wäre die Erfindung selbst doch davon zu trennen.

Da jede Art von Handel notwendigerweise Messen und Wägen voraussetzt, so hat man von manchen Seiten auch dem ältesten Handelsvolke, den Phönikern, die Erfindung der Wage und der Gewichte vindizieren wollen, indessen ohne alle andern als jene äußerlichen Gründe, welche in dem ausgebreiteten Verkehre der ersten Kauffahrer liegen. Aus der Bibel ist bekannt, daß Abraham (1. Mos. 23, 16) bereits das Silber abwog und Moses mehrerer Gattungen der Maße und Gewichte gedenkt. Im Buche Hiob ist von Wagschalen die Rede und in der Iliade finden sich mehrere Stellen, welche beweisen, daß zu Zeiten des rätselhaften Homer die Wage ein allbekanntes Instrument war.

Fig. 61. Krämerwage.

Ausführung der Wagen. Die Wagen wurden von Anfang her nach denselben Grundprinzipien ausgeführt, die auch heute noch den feinsten Instrumenten in den Laboratorien der Chemiker unterliegen. Es sind dies die uns bereits bekannten Gesetze des Hebels. Indem man an den beiden Enden eines oberhalb seines in der Mitte liegenden Schwerpunktes um eine Achse drehbaren Stabes Schalen anbrachte, zur Aufnahme der zu wägenden Körper bestimmt, hatte man die einfachste Wage hergerichtet, der wir in wenig veränderter Gestalt noch häufig begegnen, die sogenannte Krämerwage (Fig. 61). Die Zunge macht durch ihre Ausweichungen selbst geringere Ausschläge bemerklich und zeigt durch ihr Einspielen auf einen gewissen Punkt die Gleichgewichtslage genau an. In Fig. 62 geben wir noch die Ansicht der sog. Robervalschen Wage, bei welcher die Schalen oben auf den Hebelarmen liegen.

Schnellwage. Erst später, aber immerhin schon sehr frühzeitig, mag man auf die Konstruktion der ungleicharmigen Hebelwagen, der sogenannten Schnellwagen, gekommen sein. Die raschere Art und Weise der Wägung hat ihnen bei uns den Namen gegeben. Sie unterscheiden sich nämlich in ihrem Prinzip von den vorgenannten Krämerwagen und deren Verwandten dadurch, daß bei ihnen die beiden Hebelarme nicht gleich sind, der eine außerdem von veränderbarer Länge ist. Den zu wägenden Körper hängt man in einer bestimmten Entfernung vom Drehpunkte an; das Gegengewicht Q (Fig. 63) ist von bekannter Schwere und wird an dem andern Helbelarme so weit hingeschoben, bis Gleichgewicht hervorgebracht ist. Aus der Entfernung A vom Drehpunkte C läßt sich nun das gesuchte Gewicht finden, und es sind diese Wagen derart eingerichtet, daß der längere Wagebalken gleich mit einer auf das Laufgewicht bezüglichen Einteilung versehen ist, welche ein direktes Ablesen des betreffenden Gewichtes gestattet. Die Schnellwage heißt auch römische Wage, Statera romana, jedenfalls mit Unrecht, denn obwohl sie bei den alten Römern in häufigem Gebrauche war, so ist sie doch weder von denselben erfunden, noch von ihnen uns zugebracht worden. Wahrscheinlich klingt es, wenn erzählt wird, daß das Laufgewicht die Form eines Granatapfels hatte, welcher bei den Hebräern Rimmon, bei den Arabern Romman heißt; die Araber nannten dann die ganze Wage Romman, und dieser Name hat sich bei ihnen bis jetzt erhalten. Bei den Franzosen finden wir noch den Namen la romaine zur Bezeichnung des Gewichtes, und es kann sehr wohl sein, daß uns diese Art Wagen von den Arabern überkommen sind und der Name „römische Wagen“ nur von der ursprünglichen Benennung eines ihrer Teile herrührt.

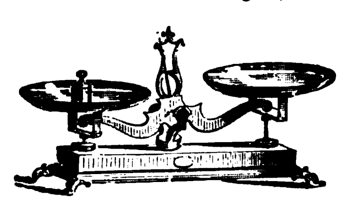


Fig. 62. Tafelwage.

Eine sehr große Genauigkeit kann man natürlich bei Apparaten so einfacher Konstruktion nicht voraussetzen, indessen bieten sie für viele Fälle ihrer leichten Handhabung wegen ein bequemes Mittel. Schon die Römer kannten — wie antike Wagen, aus den Ruinen

von Pompeji hervorgegraben, zeigen — den Vorteil, zwei verschiedene Aufhängungspunkte, wie auch deren an der in Fig. 63 dargestellten Wage zwei zu beobachten sind, je nach Bedürfnis zu gebrauchen. Gewöhnlich lag der eine dann der Last um die Hälfte, um ein Viertel oder dergleichen näher als der andre. Dadurch wurde erreicht, daß mit demselben Laufgewicht und derselben Länge des Hebelarmes ganz verschiedene, sowohl kleinere als größere Lasten gewogen werden konnten. Liegt zum Beispiel der eine Drehpunkt um 1 dcm, der andre nur um 2 cm von dem Aufhängungspunkte der Last entfernt, und ist der längere Arm 1 m lang, so können mit einem Laufgewicht von $^1/_2$ kg bei der größeren Entfernung nur Gegenstände bis zu 5 kg, bei der kleineren dagegen bis zu 25 kg gewogen werden.

In den Briefwagen und ähnlichen Einrichtungen finden wir die Wage mit ungleichen Hebelarmen in einer andern Gestalt. Es ist nämlich das Laufgewicht hier durch einen schweren Zeiger vertreten, der bei dem Niedergange der belasteten Schale aufwärts gehoben wird und dadurch mit seinem Schwerpunkte einen um den Drehpunkt liegenden Kreisbogen beschreibt. Je weiter er ausschlägt, um so größer wird der Hebelarm, an welchem sein Gewicht wirkt, während der Hebelarm der Last sich gleichzeitig verkleinert. Eine durch Probieren gefundene und auf einen Kreisbogen verzeichnete Skala zeigt das Gewicht an.

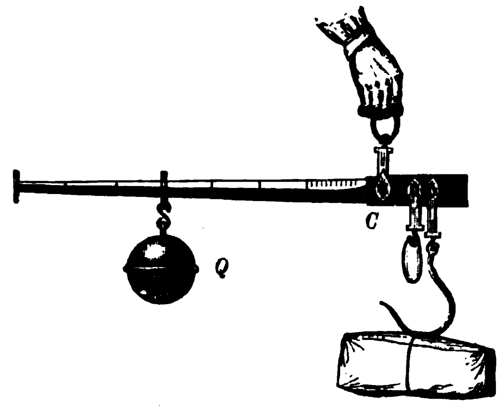
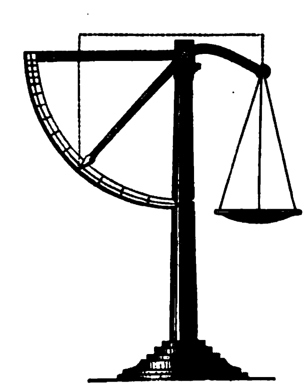



Fig. 63. Schnellwage.


Fig. 64. Briefwage.

Die **Brückenwage** oder Dezimalwage ist in ihrer Einrichtung die komplizierteste aller Wagen, wenigstens dem äußeren Anscheine nach; indessen läßt sich aus der Betrachtung der beiden Abbildungen Fig. 65 und 66 die Zusammensetzung und Wirkungsweise des nützlichen Apparates leicht deutlich machen. In beiden Zeichnungen sind dieselben Teile mit denselben Buchstaben bezeichnet, und wir können daher die Beschreibung zugleich auf beide beziehen. Die wesentlichsten Bestandteile jeder Wage erblicken wir auch hier: die beiden Wagschalen: für die Gewichte die Schale P und für die Last Q die Brücke AB; ferner den mehrfach gekrümmten Wagbalken LN, welcher bei M seine Auflagerung oder seinen Drehpunkt hat. Aber schon ein flüchtiger Überblick zeigt uns eine große Verschiedenheit von den bisherigen Wagen; wir finden nämlich, daß die Last Q nicht an einem einzigen Punkte des Hebelarmes LM hängt, sondern daß die Platte AB nur zum Teil auf der Schneide E ruht, welche ihrerseits auf den einarmigen Hebel FG drückt und durch diesen bei L am Wagebalken hängt; zum andern Teile aber drückt die Platte AB das Gestänge CD nieder und hängt mittels dessen bei K an dem Hebelarme. AB CD bilden ein festverbundenes Ganze.

Diese beiden Angriffspunkte der Last bei K und L machen uns die Sache nur scheinbar kompliziert, in der That ist die Wirkung ganz dieselbe, als ob die Last direkt und allein bei K angehängt wäre; alles über K hinaus Liegende ist nur dazu da, um ein bequemes Instrument, ein gleichmäßiges Auf- und Niedergehen der Wagschale und die ebene Form der letzteren zu erlangen, welche beim Wägen großer Lasten Erleichterungen gewährt. Es ist bei der angegebenen Einrichtung völlig gleichgültig, wo die Lasten aufgelegt werden, denn

da die ganze Auflagerung lose ist, so kann kein Teil des Druckes, mag derselbe nun bei E oder vorn bei B lasten, anders als an dem Hebelarme LM wirken. Zwischen den Hebellängen EF und GF muß aber freilich — das ist die Grundbedingung der ganzen Einrichtung — genau dasselbe Verhältnis bestehen, wie zwischen KM und LM. Ist also KM der fünfte Teil zum Beispiel von LM, so muß auch EF ein Fünftel von GF sein. Durch dieses Arrangement wird erreicht, daß, mag der Körper auf einem Punkte der Brücke liegen, auf welchem er immer wolle, der Druck in ganz gleicher Weise auf den Hebelarm sich verteilt. Der Teil, welcher bei E auf den Hebel GF wirkt, kommt zwar in dem angenommenen Falle bei G nur mit dem fünften Teile zur Geltung, dafür aber ist die Länge des Hebelarmes LM fünfmal größer als KM, wo der auf B lastende Teil einen Niedergang bewirkt, und im schließlichen Effekt wird also der Hebelarm LM so affiziert, als ob die ganze Last an K angehängt wäre. Die Verhältnisse der Hebellängen KM und LM und entsprechend EF und FG können beliebig groß, nur müssen sie untereinander gleich sein. Der Name Dezimalwage schreibt sich nicht davon her, daß bei Wagen dieser Art etwa jenes Verhältnis gerade 1:10 wäre, vielmehr kommt er davon, daß der andre Hebelarm MN, welcher die Gewichte trägt, gewöhnlich um zehnmal länger gemacht wird als die Entfernung MK, und daß daher ein Gewicht P einer zehnfach so schweren Last Q das Gleichgewicht hält. 5 kg, auf die Wagschale P gelegt, bewirken dann, daß die beiden Schneiden b und c einspielen, wenn die Last Q einen Zentner schwer ist. Auf ähnlichem Prinzipe beruhen die großen Lastwagen, auf denen man Ladungen von Hunderten von Zentnern auf einmal zur Wägung bringt.

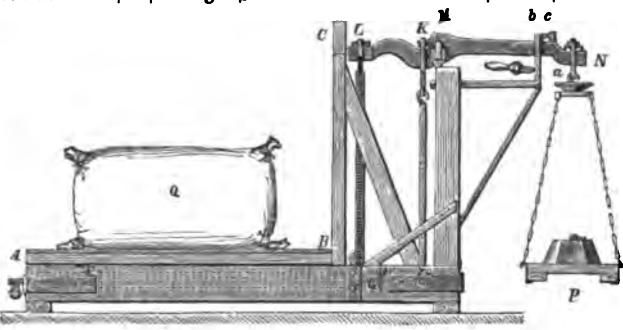


Fig. 65. Brückenwage.

Die chemische Wage. Es ist leicht einzusehen, daß die gewöhnlichen Konstruktionen der Wagen, wie wir sie bisher betrachtet haben, keinen Anspruch auf große Genauigkeit machen konnten. Mögen auch die kleinen Wagen der Apotheker und Goldarbeiter, welche von der in Fig. 61 dargestellten Krämerwage nur in der Feinheit der Ausführung abweichen, für die von ihnen verlangten Zwecke genügen, so kommen doch schon in der gewöhnlichen Praxis andre Fälle vor, wo dieselben durch feinere Apparate ersetzt werden müssen.

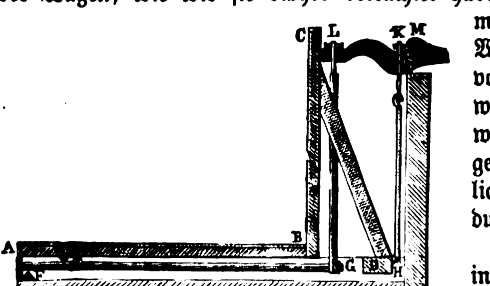


Fig. 66. Innere Einrichtung der Brückenwage.

In Städten z. B., wo große Seidenindustrie herrscht, Krefeld, Lyon ꝛc., gibt es besondere Anstalten, in denen die Seide, wie sie aus den Spinnereien oder auch roh aus Italien und den übrigen Produktionsländern ankommt, auf ihren Wassergehalt, der mitunter sehr bedeutend sein kann, geprüft wird, weil der Käufer denselben natürlich nicht als teure Seide mit bezahlen will. Nun ist es aber nicht möglich, große Quantitäten, ganze Ballen, vollständig zu entwässern und den Verlust dabei genau zu bestimmen. Man begnügt sich daher mit der Untersuchung kleiner Proben, die auf das genaueste wiederholt gewogen werden, bis sie durch Trocknen keinen Verlust mehr zeigen, und berechnet daraus für den ganzen Ballen den Wert. Bei einem so kostbaren Materiale können kleine Irrtümer sehr empfindlich für den einen oder andern Teil werden, darum wird von den Beamten der Untersuchung die größte Sorgfalt gewidmet, und nur die ausgezeichnetsten Wagen, wie sie für wissenschaftliche Zwecke gebaut werden, kommen in Anwendung. Es braucht nicht

besonders hervorgehoben zu werden, daß für physikalische und noch mehr für chemische Zwecke die subtilste und genaueste Ausführung der Wagen eine unerläßliche Bedingung ist; denn die chemische Theorie in ihrem ganzen Umfange kann sich nur auf das stützen, was ihr die Wage über die Zusammensetzung der Körper aussagt, und je genauer diese Mitteilungen ausfallen, um so sicherer werden auch die Schlüsse sein, welche die Wissenschaft zieht.

Eine gute chemische Wage besteht im wesentlichen aus drei Teilen, aus einer festen Unterlage für die Drehachse des Wagebalkens, aus diesem selbst und aus den Wagschalen. Der hauptsächlichste dieser Bestandteile ist der Wagebalken, der zwar im Prinzip durchaus nicht anders eingerichtet ist als der Balken der Krämerwage, auf dessen Ausführung aber doch sehr viel ankommt, so daß wir uns mit der Theorie, welche seiner Konstruktion zugrunde liegt, etwas näher vertraut machen müssen.

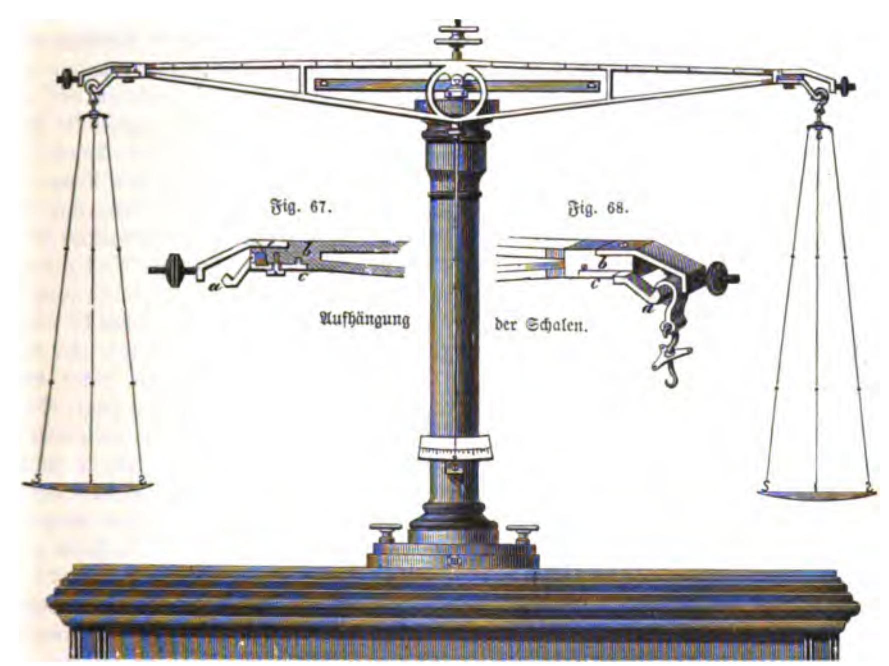


Fig. 69. Chemische Wage.

Der Wagebalken ist, wie schon bemerkt, ein doppelarmiger, und zwar ein gleicharmiger Hebel; die Wagschalen sind gleichweit vom Drehpunkt angehängt. Die Drehachse liegt etwas oberhalb des Schwerpunktes, und infolge dessen stellt sich der Wagebalken immer in derselben horizontalen Richtung ein, so daß der Schwerpunkt genau unter die Aufhängungsachse zu liegen kommt, wenn er entweder gar nicht oder auf beiden Seiten gleichviel belastet ist. Daß Drehachse und Schwerpunkt nicht zusammenfallen dürfen, noch auch der letztere höher liegen darf als die erstere, wird bei Betrachtung der Fig. 70 sich erklären lassen. Dieselbe stellt den Wagebalken vor, von dessen beiden Hälften die eine genau so lang und schwer wie die andre ausgeführt sein soll, so daß der Schwerpunkt des ganzen Systems in die Mitte fällt. In der Mitte liegt auch der Drehpunkt oder vielmehr die Drehachse, denn die feineren Wagen sind an dieser Stelle mit einem quer durch den Balken gelegten stählernen Prisma versehen, das mit seiner sorgfältig zugerichteten Kante auf einer glatten horizontalen Platte von Glas oder Achat ruht.

Nehmen wir an, der Schwerpunkt des Wagebalkens läge in dieser Achse, fiele also mit dem Drehpunkt zusammen, so würde der Wagebalken in jeder Lage im Gleichgewicht sein, eben so gut in der Lage NM als in der N'M'; die Physiker nennen dies indifferentes Gleichgewicht. Eine gleichmäßige Belastung auf beiden Seiten würde diesen Zustand

nicht ändern; das geringste Übergewicht aber auf einer Seite würde ein Herabgehen dieser so weit zur Folge haben, daß sich der Wagebalken geradezu senkrecht zu stellen suchte.

Läge der Schwerpunkt oberhalb der Drehachse, etwa in g', so daß er bei der Lage N'M' des Wagebalkens nach g zu liegen käme, so würde der Fall eintreten, den die Physiker labiles Gleichgewicht nennen: es würde die geringste Ungleichmäßigkeit, ja nur eine Erschütterung, die die Lage des wenn auch gleichmäßig belasteten Balkens aus der Senkrechten über der Drehungsachse herausbrächte, ebenfalls hinreichen, um den Balken umzukippen.

Es muß also der Schwerpunkt unterhalb des Drehpunktes liegen, in welcher Weise, lehrt uns die Betrachtung von Fig. 71: a ist der Aufhängungs- oder Drehpunkt, b der Schwerpunkt des unbelasteten Balkens. Wenn an diesen die Gewichte Q und Q' angehängt sind, so bleibt der Schwerpunkt des ganzen Systems nicht mehr b, sondern derselbe rückt, da die Gewichte in derselben Horizontallinie mit a angreifen, in dieser also auch ihr gemeinschaftlicher Schwerpunkt liegt, weiter hinauf nach a zu. Wird nun Q' etwas schwerer als Q, so verlegt sich ihr gemeinschaftlicher Schwerpunkt nach Q' hin, etwa nach d, und der des ganzen Systems, den Wagebalken mit eingeschlossen, zwischen d und b, nehmen wir an in den Punkt c. Dieser Punkt c muß aber senkrecht unter dem Unterstützungspunkte liegen, wenn der Wagebalken in Ruhe sein soll, es wird also der letztere sich um den Winkel bac drehen. Auf der Größe dieses Winkels bac beruht die Empfindlichkeit der Wage. Es liegt nun in der Hand des geschickten Mechanikers, diesen Zweck auf verschiedenartige Weise zu erreichen. Richtet er es nämlich so ein, daß der Schwerpunkt des Wagebalkens b recht nahe unter dem Aufhängungspunkt zu liegen kommt, so vergrößert sich das Verhältnis der Linien ad und ab und der Winkel bac muß stumpfer werden. Der gleiche Fall tritt aber auch ein, wenn die Arme des Wagebalkens möglichst lang und leicht gemacht werden.

Anstatt daher den Wagebalken aus dem Ganzen zu machen, gibt man ihm eine durchbrochene Form, wie es Fig. 69 zeigt. Er verliert dadurch nichts an Festigkeit; ja, man hat sogar die Teile des Wagebalkens ausgehöhlt und ist in Form zweier spitz zulaufender, der Länge nach mitten auseinander geschnittener Kegelhüllen dargestellt, wodurch allerdings ein sehr hoher Grad von Leichtigkeit erreicht wird. Indessen darf man die Empfindlichkeit nicht zu weit treiben wollen. Eine starke Belastung des Wagebalkens kann dann dahin führen, daß der allgemeine Schwerpunkt mit dem Aufhängungspunkte fast zusammenfällt und die Wage, anstatt bloß einen Ausschlag zu geben, gleich ganz umschlägt. Selbst wenn dies nicht eintritt, so werden doch die Schwingungen so langsam, die Wage wird so unruhig, daß es vieler Zeit und Geduld bedarf, um eine gute Wägung zustande zu bringen.

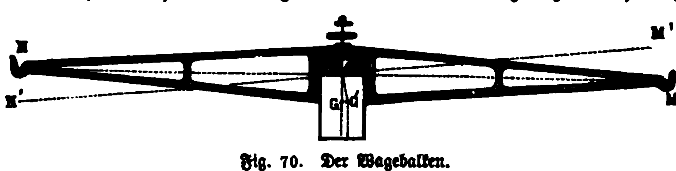


Fig. 70. Der Wagebalken.

Um die Ausschläge beurteilen und danach die Größe des Übergewichtes auf der einen oder der andern Seite genau bestimmen zu können, befindet sich am Wagebalken eine lange, senkrechte Zunge angebracht, welche sich mit ihrer feinen Spitze über einen geteilten Kreisbogen hinbewegt, der in der Anordnung, wie sie Fig. 69 zeigt, an dem unteren Teile der Säule befestigt ist. Im Zustande der Ruhe und bei unbelasteten Wagschalen muß sie genau die Mitte der Teilung, den Nullpunkt, zeigen; man erreicht dies durch Stellung der am Fuße befindlichen zwei oder drei Schrauben, und durch ein hinter der Säule hängendes Bleilot, welches bei senkrechter Stellung an einer bestimmten Marke einspielt. Da bei starker Belastung des Wagebalkens dieser sich immerhin etwas biegt, wodurch der Schwerpunkt dann zu tief herabgezogen und die Empfindlichkeit beeinträchtigt werden würde, und weil ferner diese Biegung auch eine ungleichmäßige sein kann, infolge derer dann der Schwerpunkt nicht mehr senkrecht unter dem Aufhängungspunkt zu liegen kommt, so hat man an den Enden des Wagebalkens sowohl als in der Mitte desselben Regulierungsschrauben angebracht. An denselben befinden sich metallene Scheiben oder Kugeln, durch deren Näherung oder Entfernung vom Mittelpunkte des Wagebalkens sich die Lage seines Schwerpunktes leicht korrigieren läßt (s. Fig. 67, 68).

Im Notfalle kann man sogar mit Wagen, deren Balken ungleich lang sind, noch genaue Resultate erlangen, man braucht nämlich nur zwei Wägungen nacheinander auszuführen, so daß man einmal die Last auf die eine, dann auf die andre Schale legt; aus dem Produkt beider Gewichtsangaben zieht man die Quadratwurzel. Wiegt z. B. der Körper einmal 5 und das andre Mal 7 g, so ist sein wahres Gewicht $\sqrt{35} = 5{,}91$ g, annähernd $6 = \frac{5+7}{2}$.

Schließlich bemerkt man noch an der oberen Stange des Wagebalkens eine Einteilung, gewöhnlich bis 10, weil alle feineren Wägungen schon seit langer Zeit mit dem nach dem Dezimalsystem gegliederten französischen Gewicht ausgeführt werden. Dieselbe dient zur Ausgleichung der kleinsten Gewichtsdifferenzen, welche mit Auflegung von Gewichten auf die Wagschalen nicht allemal zu erreichen sind. Man wendet daher statt des gewöhnlichen Gewichts sogenannte **Reiter** an, das sind aus feinstem Golddraht gebogene, ∩förmige Häkchen, welche auf den Wagebalken aufgesetzt werden. Diese Häkchen haben die Schwere des kleinsten Gewichtes. Der Ort am Wagebalken, wo das Reiterchen sitzen muß, wenn Gleichgewicht herrschen soll, gibt dann den Zuwachs, welchen die Gewichte erfahren, beziehentlich den Abzug, wenn das Reiterchen auf Seiten der Last aufgesetzt war. In bezug auf dies Reiterchen wirkt also die Wage als ein ungleicharmiger Hebel. Gesetzt, die Wage wäre im Gleichgewicht, wenn die Schale 3,246 g trüge, und der Reiter auf derselben Seite genau zwischen dem vierten und fünften Teilstriche, von der Mitte aus gerechnet, aufgesetzt wäre, so würde das Gesamtgewicht 3,24645 g betragen. Denn da der Reiter selbst 1 mg schwer ist, so wirkt er am fünften Teilstriche nur so viel wie 0,0005, und in der Mitte zwischen dem vierten und fünften Teilstrich wie 0,00045 g.

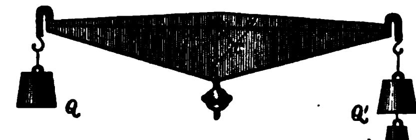


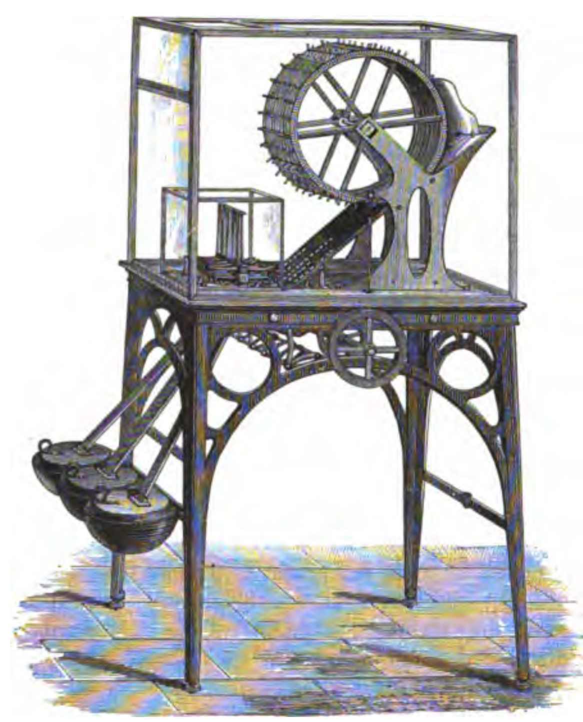
Fig. 71. Zur Theorie des Wagebalkens.

Wie der Drehachse, hat man auch, um die Reibung soviel wie möglich zu vermeiden, den Aufhängungspunkten der beiden Schalen die Form glatter stählerner Schneiden gegeben, welche sich auf glatt polierten Achatplatten oder Glas, oder auch auf feinem Stahl bewegen. Für den Drehpunkt ist die Form einer kantigen Schneide um deswillen erforderlich, weil bei einem runden Stifte, einer Walze, jede Änderung der Balkenlage auch allemal den Drehpunkt verlegen würde und von einer Genauigkeit gar keine Rede sein könnte. Die Figuren 67 und 68 zeigen uns eine Aufhängungsart der Schalen im Detail. Um die Schneiden genau einstellen zu können, so daß sie unter sich parallel, rechtwinkelig gegen die Richtung des Wagebalkens und alle drei in derselben Horizontalebene liegen, sind an den beiden Aufhängungen verschiedene Schrauben angebracht, mittels deren die die Schneide a tragende Platte c verschiedentlich gerichtet werden kann. Man läßt, um die Abnutzung der mittelsten Schneide möglichst zu verhindern, den Wagebalken nicht fortwährend auf derselben ruhen und hin und her schwingen, sondern man hebt ihn, wenn die Wage außer Gebrauch gesetzt wird, von seiner Unterlage ab und hängt ihn durch Eingreifen zweier Arme auf, man **arretiert** oder „entlastet“ ihn. In unsrer Zeichnung ist diese Arretierung einmal durch den kurzen horizontalen Stab, welcher durch den Wagebalken hindurch sichtbar wird, das andre Mal durch den kleinen viereckigen Zapfen im Fuße des Gestelles angedeutet. Der kleine Zapfen wird mit Hilfe eines Schlüssels gedreht und bewirkt durch ein Exzentrikum ein Auf- oder Heruntergehen jenes Armes, wodurch der Wagebalken abgehoben oder wieder aufgesetzt wird. Bei genauen Wägungen arretiert man nicht nur, wenn man überhaupt die Wage außer Gebrauch setzt, sondern auch jedesmal, wenn man Gewichte hinzufügt oder von den Schalen wegnimmt.

Die vorzüglichsten Wagen der Jetztzeit sind wohl diejenigen, welche von Seiß in Atzgersdorf bei Wien für die kgl. Münze in Berlin gefertigt worden sind, und welche die Aufgabe erfüllen, die aus den Zainplatten mittels einer Lochmaschine in der entsprechenden Größe ausgeschlagenen runden Metallscheiben, welche zwar annähernd das verlangte

Gewicht haben, jedoch noch nicht in dem vollen Maße der Genauigkeit, als es verlangt wird, zu wägen und, je nachdem jene Münzstücke vollwichtig, zu schwer oder zu leicht sind, sie in besondere Abteilungen zu bringen. Dies geschieht ohne Zuthun der menschlichen Beihilfe selbstthätig und viel sicherer als es der geübteste Beamte vollbringen könnte, vor allen Dingen aber mit einer Schnelligkeit, welche eine große Zahl von Menschenkräften unnötig macht. Die zu leicht befundenen Münzplatten werden wieder eingeschmolzen, die vollwichtigen gelangen, nachdem sie blank gesotten worden sind, in die Prägemaschine, die überwichtigen müssen vorher noch mehr oder weniger von ihrer Substanz durch die Justiermaschine abhobeln lassen. Eine solche Seißsche Wage sortiert nun von selbst die ihr übergebenen Münzplatten in fünf verschieden schwere Sorten. Auf ähnlichen Prinzipien beruht die von Stückrath hergestellte Wage sowie die bei der Pariser Münze in Gebrauch befindliche Goldwage, welche von Baron Saguier erfunden worden.

Das spezifische Gewicht. Vitruvius erzählt, daß der König Hiero von Syrakus dem Archimedes eine kostbare Krone aus Gold übergeben habe, damit er untersuche, ob der Künstler, von welchem sie verfertigt worden war, redlich zu Werke gegangen sei und reines Gold, wie ihm aufgetragen, dazu verwendet oder ob er das Innere aus einer minder edlen Mischung als die Oberfläche hergestellt habe. Bei dieser Untersuchung aber sollte selbstverständlich die schöne Form nicht zerstört werden. Archimedes habe beim Baden den Schlüssel zu dem Rätsel gefunden und sei aus Freude darüber unter dem lauten Ausrufe: Heureka (ich habe gefunden!), ohne sich vorher anzukleiden, nach Hause gelaufen. Welcher Art ist nun dieser Schlüssel?


Fig. 72. Französische Goldwage.

Es ist eine längst bekannte und jedem von selbst sich aufdrängende Thatsache, daß gleiche Volumina verschiedener Körper nicht allemal dasselbe Gewicht haben. Im Gegenteil, es wird nur ein seltener Zufall sein, wenn zwei gleichgroße Volumina verschiedener Substanzen, auf die beiden Wagschalen gelegt, dieselben nicht aus der Gleichgewichtslage verrücken. Ein Würfel von 1 cm Seitenlänge wiegt, wenn er von reinem Gold ist, 19,3 g, ein gleichgroßer Würfel reinen Silbers 10,5 g, aus Eisen hergestellt wiegt derselbe Würfel nur 7,5 g, und ein gleichgroßes Volumen von Wasser wiegt, wie wir aus dem Kapitel über das Metermaßsystem wissen, 1 g.

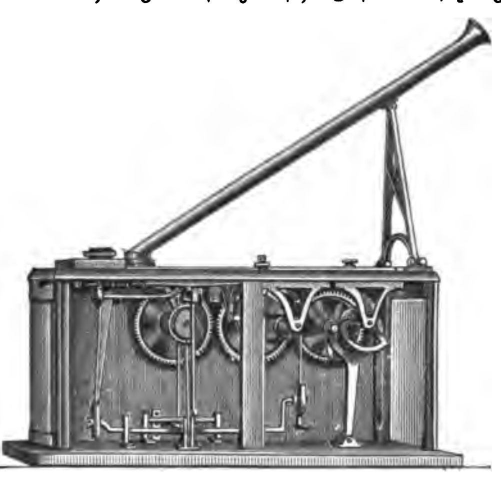
Dieses Verhältnis zwischen Volumen und Gewicht eines Körpers bleibt immer dasselbe, 1 ccm reinen Goldes wiegt immer 19,3 g, reinen Silbers immer 10,5 g ꝛc.; es beruht auf der eigenartigen Dichtigkeit der betreffenden Substanzen, und man kann diese Dichtigkeit selbst durch jenes Verhältnis ausdrücken. Natürlich bleibt auch das Verhältnis, in welchem die Gewichte gleichgroßer Volumina zweier Stoffe, z. B. 1 ccm Gold und 1 ccm Eisen, zu einander stehen, immer dasselbe; in dem angenommenen Falle 19,3 : 7,5. Dieses letztere Verhältnis hat man das spezifische Gewicht genannt. Je nachdem man in dieser Weise die verschiedenen Stoffe nach ihrer Dichtigkeit miteinander vergleicht, gelangt man auf verschiedene Zahlwerte; geht man aber von einem bestimmten Stoffe aus und bezieht alle übrigen auf

ihn als Einheit, so erhält man die Verhältnisse der spezifischen Gewichte in einer Reihe von Zahlgrößen ausgedrückt, die man nun für die spezifischen Gewichte selbst ansehen kann, wenn man nur nicht vergißt, auf was für einen ursprünglichen Vergleichsstoff oder, was dasselbe ist, auf was für eine Dichtigkeit sie zurück zu beziehen sind.

Für die festen und flüssigen Körper ist man übereingekommen, die Dichtigkeitsverhältnisse des Wassers zum Ausgangspunkte zu nehmen, und indem man diese zur Einheit gemacht hat, gibt man das spezifische Gewicht einer Substanz einfach durch die Zahl an, welche das Verhältnis ihrer Dichtigkeit zu der = 1 gesetzten Dichtigkeit des Wassers ausdrückt. Wenn es also heißt, Eisen hat ein spezifisches Gewicht von 7,5, so bedeutet dies: 1 cbm Eisen wiegt genau $7\frac{1}{2}$mal soviel als 1 cbm Wasser.

Aus dem spezifischen Gewichte kann man nun das Volumen eines Körpers, dessen absolutes Gewicht man kennt, leicht berechnen; das gesuchte Volumen verhält sich zu dem Volumen einer gleichschweren Wassermenge umgekehrt wie das spezifische Gewicht des Körpers zu 1; es ist = 1 dividirt durch die Zahl des spezifischen Gewichts.

Für gemengte Substanzen, Metalllegierungen u. dergl., darf angenommen werden, daß das spezifische Gewicht des Gemenges sich innerhalb der Grenzen der spezifischen Gewichte der einzelnen Bestandteile hält und je nach dem Grade der Zusammensetzung der einen oder andern sich nähert. Aus dem spezifischen Gewicht eines aus bekannten Stoffen hergestellten Gemenges wird man also auf dem Wege der Rechnung die prozentische Zusammensetzung ermitteln können, wenn es sich nur um zwei Bestandteile handelt, und wenn bei der Vermischung derselben Änderungen in den Dichtigkeiten nicht stattgefunden haben.


Fig. 73. Goldwage von Stückrath.

Zu des Archimedes Zeit war Gold von den bekannten Körpern der schwerste; es hätte also keine Schwierigkeit gehabt, die Frage des Königs, ob reines Gold oder ein Gemenge in der Krone enthalten sei, zu beantworten, wenn man neben dem leicht zu ermittelnden Gewichte nur auch das Volumen der Krone gekannt hätte; denn erreichte das absolute Gewicht nicht die Höhe des Gewichtes, welche ein solches Volumen reines Gold haben mußte, und welches man auch damals schon sehr gut zu berechnen verstand, so mußte eine Fälschung mit leichteren Metallen vorgenommen worden sein. In dieser Volumbestimmung lag aber die große Schwierigkeit, da die Form nicht zerstört werden sollte. Archimedes nun fand beim Baden dafür eine neue Methode, indem er bemerkte, wie aus dem vollen Badegefäße beim Eintauchen eines Körpers genau soviel Wasser herausgepreßt wurde, als das Volumen des eingetauchten Körpers, dieser mochte eine Gestalt haben, welche er wolle, betrug. Das herausgeflossene Wasser war leicht zu messen und danach dann das andre ebenso leicht zu berechnen. — An die vorstehende Betrachtung schließen sich andre wichtige Folgerungen an. Da ein Körper, der in Wasser getaucht wird, von diesem ebensoviel verdrängt, als sein Volumen beträgt, so wird es erklärlich sein, warum jeder Körper in Wasser oder auch in jeder andern Flüssigkeit leichter wird, als er in der Luft oder gar im luftleeren Raume ist. Das von ihm verdrängte Wasser sucht den Eindringling wieder herauszudrängen, es drückt von unten nach oben auf ihn und hebt infolgedessen so viel von dem Gewichte des eingetauchten Körpers auf, als die verdrängte Wassermasse wiegt.

Jeder in eine Flüssigkeit eingetauchte Körper verliert von seinem Gewichte soviel, als das Gewicht der von ihm verdrängten Flüssigkeitsmenge beträgt. Das ist das sogenannte Archimedische Prinzip. — Ein Stein, ein gleichgroßes Stück Eisen, ein dem Volumen nach gleiches Stück Holz werden, unter Wasser

gebracht, alle um dasselbe Gewicht leichter, so daß vielleicht der Stein, wenn er vorher 2 kg wog, jetzt nur noch 1 kg wiegt, das Eisen nur noch $6^1/_2$ kg, während sein Gewicht vorher $7^1/_2$ kg war. Das Holz aber, das doch in der Luft $^3/_4$ kg gewogen hatte, zeigt jetzt das Bestreben, in die Höhe zu steigen und wird dabei selbst noch eine Last von fast $^1/_4$ kg tragen können. Ist es unbelastet und unbehindert, so steigt es auch wirklich bis an die Oberfläche und ragt über diese mit dem vierten Teile seines Volumens heraus, denn erst in dieser Lage ist der nach oben wirkende Druck des verdrängten Wassers gleich dem Gewichte des eintauchenden Körpers und mit diesem im Gleichgewichte.

Ein Körper, der, wenn er sich völlig frei bewegen kann, nicht ganz in das Wasser eintaucht, sondern von demselben getragen wird und zum Teil über die Oberfläche hinausragt, schwimmt. Es schwimmen alle Körper, deren Gewicht geringer ist als dasjenige einer dem Volumen nach eben so großen Wassermasse. Im ganzen ist der menschliche Körper leichter als das Wasser und der Grund des Ertrinkens daher nicht das Untergehen, sondern die Angst und Unruhe, welche die richtige Lage, in der das Atmen möglich bleibt, nicht finden und innehalten läßt. Ist der eintauchende Körper genau so schwer wie das ihn umgebende Wasser, so wird er in demselben nicht über die Oberfläche hinausragen, er wird von selbst weder in die Höhe steigen noch hinabsinken, er wird vielmehr in jeder Lage in Ruhe sein.

Jeder Körper, dessen spezifisches Gewicht geringer ist als das des Wassers, schwimmt in demselben und taucht gerade um so viel seines Volumens ein, als sein spezifisches Gewicht beträgt; jeder Körper, dessen spezifisches Gewicht größer ist als das des Wassers, sinkt in demselben zu Boden, ist aber, während er sich im Wasser befindet, um so viel leichter, als das Gewicht der von ihm verdrängten Wassermasse beträgt.



Fig. 74. Frei schwimmender Körper.

Da wir nun für die spezifischen Gewichte das Wasser als Einheit genommen haben, so ergibt sich hieraus ein sehr einfaches Verfahren, das spezifische Gewicht eines festen Körpers, der schwerer als Wasser ist, zu bestimmen: man wägt ihn das eine Mal auf gewöhnliche Art, das andre Mal aber im Wasser (Fig. 75), und setzt die sich dabei herausstellende Gewichtsdifferenz (das Gewicht der verdrängten Wassermasse) in Verhältnis zu der erst gefundenen Zahl (zu dem absoluten Gewicht). Gesetzt, ein in der Luft 25 g schweres Goldstück wiege im Wasser nur 23,5 g, so wäre das Gewicht des verdrängten Wassers also gleich 1,5 g und das spezifische Gewicht des Goldstücks demnach $= \frac{25}{1{,}5}$ oder $= 16{,}666$. Nun hat aber reines Gold ein spezifisches Gewicht von 19,3; unser Goldstück muß also Zusätze von leichteren Körpern erhalten haben, durch die es zugleich in seinem Werte verringert worden ist. Sobald diese Zusätze ihrer Natur nach bekannt sind, kann man aus dem spezifischen Gewicht derselben auch mit Sicherheit ihre Menge bestimmen.

Das Wägen im Wasser hat keine großen Schwierigkeiten; man kann jede Wage dazu benutzen, an der man die eine Wagschale abgehängt und den Balken auf andre Art ausgeglichen hat. Der zu wägende Körper wird mittels eines feinen Metalldrahtes an einem Häkchen befestigt, so daß er gerade in die Mitte des mit Wasser gefüllten Gefäßes zu hängen kommt. Eine solche Wage heißt dann eine hydrostatische Wage (Fig. 75).

Eine andre Methode, das spezifische Gewicht fester Körper zu bestimmen, ist die, daß man sie in ein Gläschen mit Wasser bringt, das bis an den obersten Rand gefüllt und gewogen worden ist. Durch das Hinzuthun eines neuen Körpers wird dem Volumen nach eine genau gleichgroße Wassermenge verdrängt, welche man für sich wägen und dadurch die Gewichtsdifferenz bestimmen kann. Eine dritte Methode ermöglichen die Aräometer.

Aräometer. Diesen kleinen Apparaten liegt dasselbe Prinzip zugrunde wie der hydrostatischen Wage, nämlich daß der fragliche Körper das eine Mal in der Luft, das andre Mal im Wasser gewogen wird; indessen sind sie in andrer Art eingerichtet. Das bekannteste dieser Instrumente ist das sogenannte Nicholsonsche Aräometer, nach seinem Erfinder, einem englischen Physiker, der in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts lebte, so genannt. Es besteht aus einem hohlen Cylinder von Messingblech, der nach beiden Seiten konisch verläuft, an seiner unteren Spitze eine schwere Schale a trägt, welche den Zweck hat, den zu wägenden Körper aufzunehmen, sodann aber auch den Schwerpunkt möglichst tief nach unten zu verlegen. Obenhin geht der Messingkörper in einen schwachen Draht aus, der ebenfalls eine Schale b oder eine Platte trägt und an einer gewissen Stelle mit einer Marke c versehen ist. Bis an diese Marke muß der Apparat allemal zum Eintauchen gebracht werden. Da der Körper des Aräometers im Innern hohl ist, so taucht derselbe in unbelastetem Zustande nur teilweise ein (Fig. 76); um das Niedergehen bis zur Marke c zu bewirken, muß daher auf die obere Schale ein gewisse Anzahl Gewichte gelegt werden. Bringt man einen Körper, z. B. einen Edelstein, auf die obere Schale, so werden natürlich, um ein Eintauchen bis zur Marke zu bewirken, weniger Gewichte auf b aufzulegen sein, und dieses Mindergewicht gibt das absolute Gewicht des Körpers an (Fig. 77). Eine dritte Wägung ist noch nötig, um den Gewichtsverlust des zu untersuchenden Körpers im Wasser zu bestimmen.

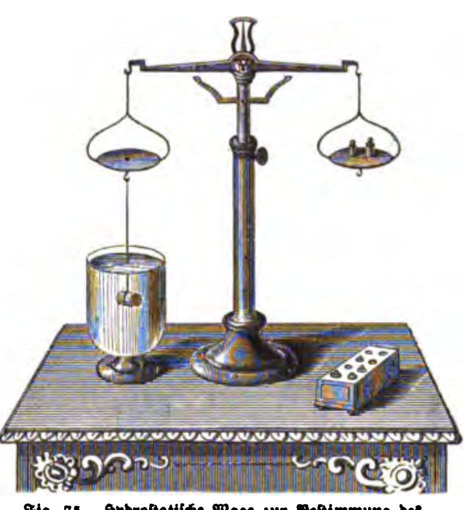


Fig. 75. Hydrostatische Wage zur Bestimmung des spezifischen Gewichts.

Sie erfolgt, indem man den Stein in die untere Schale a legt und durch Gewichte wieder ein Einspielen der Marke hervorruft (Fig. 78).

Hat man z. B., um das Aräometer bis zur Marke in das Wasser zu versenken, das erste Mal 20 g nötig gehabt, das zweite Mal, mit dem Steine, aber bloß 14,8 g, so muß der letztere 5,2 g wiegen. Das dritte Mal, wo derselbe im Wasser gewogen wurde, wären auf die Schale b 16,9 g zu legen gewesen. Es hat dann also der Edelstein nur noch mit einem Gewicht von 20 weniger 16,8 oder von 3,2 g gewirkt, und er hat im ganzen 5,2—3,2 oder 2 g an Gewicht verloren: so viel beträgt die von ihm verdrängte Wassermasse; sein spezifisches Gewicht ergibt sich aus dem Verhältnis von 5,2 : 2 und ist durch die Zahl 2,6 ausgedrückt.

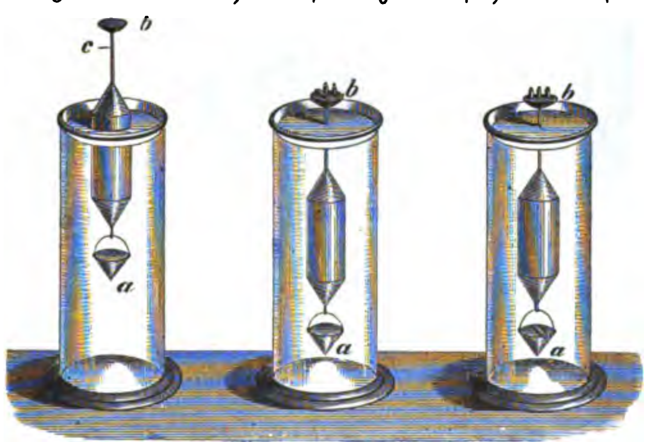


Fig. 76. Fig. 77. Fig. 78.
Nicholsons Aräometer und seine Anwendung zur Bestimmung des spezifischen Gewichts.

Bei ganz genauen Bestimmungen hat man zu berücksichtigen, daß in der Luft alle Körper durch die verdrängte Luftmenge ebenfalls einen entsprechenden Gewichtsverlust erleiden.

Alkoholometer, Saccharometer, Bierwage u. s. w. Eine ganz besondere Wichtigkeit hat das Aräometer in seiner Anwendung zur Bestimmung des spezifischen Gewichts von Flüssigkeiten erlangt. Wo es sich um Auflösungen fester Körper in flüssige oder um Gemenge verschiedener Flüssigkeiten handelt, ist die Ermittelung des spezifischen Gewichts nicht nur das bequemste, sondern oft auch das sicherste Mittel zur Erkenntnis ihres Gehaltes und Wertes.

In chemischen Fabriken richtet sich das Gelingen der Darstellung vieler Präparate nach dem Konzentrationsgrade der Lösungen. Der Gehalt an kristallisierbaren Salzen in den Laugen muß immer auf eine bequeme Weise ermittelt werden können, weil von der Konzentration der Auflösungen, die sich während der Abdampfung fortwährend ändert, der Gang der Behandlung abhängt. Dies geschieht durch Ausmittelung des spezifischen Gewichts. Alle Salzlösungen, Säuren, Ammoniakflüssigkeit, Chlorkalklösung, Wasserglas u. dergl. lassen sich nach ihrem spezifischen Gewichte auf ihren Gehalt an wirklich wertvollen Stoffen und auf den Wasserzusatz prüfen; viele flüssige Produkte des Handels werden daher unter Angabe des spezifischen Gewichts gekauft und verwendet. Die ausgebreitetste Anwendung findet das Aräometer oder die Senkwage in der Brennerei und für die Wertbestimmung alkoholhaltiger Präparate, Branntwein und Spiritus.

Um das spezifische Gewicht von Flüssigkeiten zu bestimmen, könnte man ohne weiteres das Nicholsonsche Aräometer anwenden. Wenn zum Eintauchen bis an die Marke im Wasser z. B. 20 g aufgelegt werden mußten, in verdünnter Schwefelsäure jedoch 25 g, so wird von dieser letztern ein gleichgroßes Volumen $1^1/_4$mal soviel wiegen oder, wenn wir das spezifische Gewicht des Wassers auch für Flüssigkeiten als Einheit annehmen, so wird die Schwefelsäure ein spezifisches Gewicht = 1,25 haben. Ganz reine englische Schwefelsäure wiegt 1,84; durch Versuche für jede Zwischenstufe zwischen 1 und 1,84 ist der Prozentgehalt an Wasser und Schwefelsäure festgestellt worden, so daß man später nur in einer danach angefertigten Tabelle nachzusehen braucht, um den Gehalt jeder verdünnten Säure zu erfahren. Für den praktischen Bedarf aber hat das Nicholsonsche Aräometer sich einige Abänderungen gefallen lassen müssen, die es den jedesmaligen Zwecken bequemer gestaltet haben. Das Instrument, die Senkwage (Fig. 79), besteht noch aus einem langen hohlen Cylinder, derselbe ist aber ohne Wagschalen, gewöhnlich von Glas, damit man die innen angebrachte Skala durchlesen kann, oben und unten zugeschmolzen und im unteren Teile mit einigen Tropfen Quecksilber oder einer Anzahl Schrotkörner versehen, welche das aufrechte Schwimmen bewirken sollen.

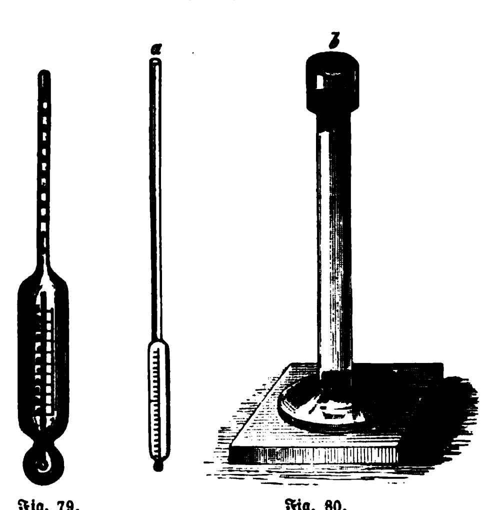


Fig. 79. Senkwage. Fig. 80. a Senkwage mit Thermometer. b Standglas.

Je leichter eine Flüssigkeit ist, um so tiefer wird ein derartiges Instrument, dessen Gewicht immer gleich bleibt, in dieselbe eintauchen. Eine Skala gibt die bezüglichen spezifischen Gewichte an und Tabellen helfen dann weiter. Der Bequemlichkeit wegen hat man für die verschiedenen Arten der Flüssigkeiten besondere Instrumente hergerichtet, deren Skalen dann sich nur innerhalb gewisser Grenzen zu bewegen brauchen und welche den Vorteil bieten, daß man auf denselben anstatt des spezifischen Gewichts gleich den Prozentgehalt verzeichnet findet (Prozent-Aräometer). In dieser Weise hat man demnach Alkoholometer, Saccharometer zur Ausmittelung des Zuckergehaltes, Milchmesser (Laktometer), Bierwagen u. dergl. hergestellt. Leider hat sich in der Einrichtung der Tabellen die liebe Eitelkeit der „Erfinder“ und „Verbesserer“ wieder einmal zum Unsegen des ganzen

Publikums recht breit gemacht. Es gibt z. B. eine ganze Anzahl von Senkwagen, die sich durch nichts weiter voneinander unterscheiden als durch die Albernheit, daß meinetwegen die eine (für Flüssigkeiten leichter als Wasser) das spezifische Gewicht des Wassers einmal mit 10, das andre Mal (für schwere Flüssigkeiten) mit 1 bezeichnet, oder daß die einzelnen Angaben, wie bei den Spiritus wagen, unter sich ohne Sinn und Verstand um halbe und ganze Prozente abweichen, je nachdem sie mit Stoppani-, Richter-, Cartier-, Beck- oder Baumé-Instrumenten gemacht worden sind.

Das Gay-Lussacsche Volumeter ist derart eingerichtet, daß seine Skala direkt angibt, um wie viele Volumenteile es in die Flüssigkeit eintaucht. Da sich die spezifischen Gewichte umgekehrt verhalten wie die verdrängten Flüssigkeitsmassen, so sind sie leicht zu berechnen, und es verdient dies Instrument daher das rationellste genannt zu werden.

Die äußere Ausstattung der Alkoholometer wird gewöhnlich durch ein hohes Standglas vervollständigt, in welches der zu prüfende Spiritus gethan wird. Dasselbe darf nicht zu eng sein, damit nicht das Aräometer durch das Hinaufziehen der Flüssigkeit an den Wandungen in seinen Angaben beeinflußt wird. Außerdem auch kommt bei derartigen Messungen viel auf die Temperatur an, und damit diese sich nicht während der Untersuchung zu rasch ändere, sind Gefäße von etwas größerem Inhalt immer vorzuziehen. Je wärmer nämlich, um so leichter ist die Flüssigkeit, und bei Spiritus kann eine geringe Temperaturverschiedenheit schon zu beträchtlichen Abweichungen im spezifischen Gewicht führen. Es wird dies berücksichtigt, indem man an der Senkwage gleich ein Thermometer mit anbringt, dessen Angaben man mit Hilfe bezüglicher Tabellen in Rechnung zieht.

Vergleichende Aräometerskalen.

Balling & Kaiser	Long	Baumé	Beck	Stoppani	Hermbstaedt	Twaddle	Volumeter	Spezifisches Gewicht
0	0	0	0	0	1000	0	100	1·0000
1	1	1	1	1	1010	1	99	1·0040
2	2	2	2	2	1020	2	98	1·0080
3	3	3	3	3	1030	3	97	1·0120
4	4	4	4	4	1040	4	96	1·0160
5	5	5	5	5	1050	5	95	1·0200
6	6	6	6	6	1060	6	94	1·0240
7	7	7	7	7	1070	7	93	1·0281
8	8	8	8	8	1080	8	92	1·0322
9	9	9	9	9	1090	9	91	1·0363
10	10	10	10	10	1100	10	90	1·0404
11	11	11	11	11	1110	11	89	1·0446
12	12	12	12	12	1120	12		1·0488
13	13	13	13	13	1130	13		1·0530
14	14	14	14	14	1140	14		1·0572
15	15	15	15	15	1150	15		1·0614
16	16	16	16	16	1160	16		1·0657
17	17		17	17	1170	17		1·0700
18	18		18	18	1180	18		1·0744
19	19		19	19	1190	19		1·0788
20	20		20		1200	20		1·0833
21	21				1210	21		1·0877
22	22				1220	22		1·0922
23	23				1230	23		1·0967
24	24				1240	24		1·1013
25	25				1250	25		1·1059
26	26				1260			1·1106
27	27				1270			1·1153
28	28				1280			1·1200
29	29				1290			1·1247
30	30				1300			1·1295
	31							
	32							
	33							
	34							
	35							
	36							
	37							
	38							
	39							
	40							
	41							
	42							
	43							

Fig. 81. Vergleichende Zusammenstellung einiger Aräometerskalen.

Bei richtiger Benutzung sind die Aräometer ganz ausgezeichnet nützliche Apparate. Wo es sich indessen um Mischungen von mehr als zwei Stoffen handelt, werden sie als

Gütemesser ganz unzuverlässig, denn sie vermögen ja eben nichts als die durchschnittliche Dichtigkeit der sämtlichen Stoffe anzugeben, nicht aber, wieviel jeder einzelne dazu beigetragen hat, und die Werte, die sie zeigen, werden ganz unbrauchbar, wenn ein Bestandteil schwerer, der andre wieder leichter als Wasser ist. Bier z. B. besteht der Hauptsache nach aus Wasser, dann aus Alkohol, welcher das spezifische Gewicht der Mischung vermindert, und endlich aus Zucker, Salzen und Extraktstoffen, welche sämtlich auf eine Vergrößerung des spezifischen Gewichts hinwirken. Es können also zwei Biere genau dasselbe spezifische Gewicht haben und doch in ihrem Gehalt himmelweit verschieden sein, wenn mit der Zunahme des Alkoholgehaltes auch die Menge der festen Bestandteile entsprechend gestiegen ist. Bei Milch tritt derselbe Fall ein, hier sind es einesteils die Fettbestandteile, andernteils Milchzucker und Salze, welche einander in ihrer Wirkung auf das Aräometer neutralisieren. Bierwagen und Milchwagen sind daher, wenn sie sich lediglich auf Ausmittelung des spezifischen Gewichts gründen, ein Unsinn.

In bezug auf die Erfindung der Aräometer herrscht unter den Historikern eine Sage, auf die wir wenigstens hinweisen müssen, wenn wir damit auch keineswegs irgend eine Bürgschaft übernehmen wollen. Es gedenkt nämlich der Bischof Synesius von Kyrene in einem Briefe an seine Lehrerin, die berühmte Hypatia in Alexandrien, eines Instrumentes, welches er sich in Alexandrien will anfertigen oder kaufen lassen. Die Beschreibung, die er der Hypatia von dem Instrumente gibt, damit sie ihm kein falsches besorge, wie ebensowohl der Zweck (Synesius will es wie ein Hydroskopium gebrauchen, weil er krank ist), lassen allerdings den Gedanken aufkommen, es könne damit ein Aräometer gemeint sein. Die Hypatia kann aber die Erfinderin nicht sein, wie einzelne Erklärer geschlossen haben, denn ihr würde der Bischof nicht eine so genaue Beschreibung zu geben nötig gehabt haben. Daß auch vor 400 n. Chr. die Senkwage in Alexandrien noch wenig bekannt war, würde daraus hervorgehen, daß eine so unterrichtete Frau wie die Hypatia (sie wurde 415 ermordet) nichts davon gewußt zu haben scheint.

Die wirkliche Beschreibung einer Senkwage findet sich in einem lateinischen Gedicht des 6. Jahrhunderts, als dessen Urheber man den Grammatiker Priscianus ansieht. In Deutschland bediente man sich schon in sehr frühen Zeiten solcher Instrumente zur Prüfung von Salzsolen, und in einem 1603 erschienenen Buche „Halographia“ von Joh. Thölden steht ihre Beschreibung ausführlich angegeben.

Ihre jetzige Form, aus Glas und mit Skala, dürften die Senkwagen aber erst ungefähr seit 1675 haben, wo sie der bekannte Physiker Robert Boyle als Goldwagen vorschlug. In derselben Zeit wohl auch wurden sie von Boyle und Cornelius Mayer zuerst zur Bestimmung des spezifischen Gewichts angewandt. Nicholson beschrieb sein Aräometer mit Gewichten 1787. Das Jahr darauf konstruierte ein gewisser Richardson eine Bierwage. Ballet, ein Franzose, erfand eine Likör- und Branntweinwage, und von dieser Zeit an häuften sich die Veränderungen, über deren Wert wir uns schon ausgesprochen haben.





> Wie das Gestirn
> Ohne Hast,
> Aber ohne Rast,
> Drehe sich jeder
> Um die eigne Last.
>
> Goethe.

Pendel und Zentrifugalkraft.

Galileo Galilei. Entdeckungen der Pendelgesetze, Fallgesetze. Gleichmäßig verzögerte und beschleunigte Bewegung. Anwendung des Pendels. Pendeluhr. Sekundenpendel. Das zusammengesetzte Pendel. Mälzels Metronom. Reversionspendel. Foucaults Versuch. Verschiedenheit des Sekundenpendels auf der Erde. Abplattung. Die Zentrifugalkraft. Plateaus Versuch über die Saturnbildung Der Zentrifugalregulator. Die Zentrifugal-Trockenmaschine.

Am 18. Februar 1864 wurde eins der bedeutsamsten Jubiläen gefeiert, welche zu begehen die Menschheit überhaupt Veranlassung haben kann. An diesem Tage waren es 300 Jahre, daß Galileo Galilei geboren wurde.

Nicht die einzelnen Entdeckungen allein, welche sich diesem Genie aufthaten, mögen sie noch so groß, so weitleuchtend und bahneröffnend gewesen sein, nicht diese sind es, welche auf seinen Geburtstag als auf einen heiligen Tag der Welt zurückblicken lassen — es ist das Zerreißen des Nebelvorhanges überhaupt, der um Geister und Köpfe lag, und der selbst die Begabtesten an alten Anschauungen festhalten ließ, bloß weil ihr Ursprung einige Jahrtausende zurücklag und vielleicht an den unantastbaren Namen eines Aristoteles anknüpfte. Galilei stürzte das alte Gebäude aber nicht, ohne den Baugrund zu ebnen und zu festigen und Wage und Richtscheit den neuen Arbeitern in die Hand zu geben.

In der That ist er der Erste — seine Zeit ein Wendepunkt. Wenn wir aber eine einzelne und die schönste Blüte Galileischen Geistes aufbrechen sehen wollen, so versetzen wir uns in das Halbdunkel des Domes zu Pisa.

Es ist ein hohes Kirchenfest. Von dem Chore erklingen melodische Wogen durch den kühlen Raum; Hunderte von Kerzen flimmern durch die Weihrauchwolken, welche stummbewegte Ministranten um den Hauptaltar verbreiten; eine Menschenmasse füllt das Schiff, kommend und gehend und kniebeugend in altgewohnter, unverstandener Weise. Durch hohe Fenster sucht das klare Himmelslicht hineinzudringen, doch kann kein Strahl sich frei auch

nur auf eine Stirne niedersenken; in diesen Raum darf die Sonne nur scheinen, um reizend bunt zusammengesetzte Glasscherben zu erhellen. In einem Geiste aber geht eine andre Helle auf. Ein junger Student, der neunzehnjährige Galilei, lehnt an einer Säule.

Sein Vater, einem edlen Geschlechte zu Pisa entsprossen, hatte den Sohn für den Kaufmannsstand bestimmt und, selbst den Wissenschaften geneigt, ihm eine ausgezeichnete Erziehung geben lassen. Allein der früh erwachte Geist des Knaben erkannte bald, daß seine Aufgabe eine andre sei, als um Seide oder Gewürze zu handeln. Er bezog die Universität seines Geburtsorts und widmete sich hier der Medizin und der Philosophie des Aristoteles. Wo aber die andern gläubig nachbeteten, trat ihm die Versuchung entgegen, zu prüfen. Überall ist für ihn Ordnung und Gesetzmäßigkeit; kein andres Gesetz, sagt er sich, als das, was die Natur selbst offenbart, kann das Wesen der Dinge zusammenhalten. Den Deutungen der Menschen gibt er keinen Wert, wo sie nicht der klare Ausdruck der Natur geblieben sind. Und das sind sie selten.

Galilei hat sich bald gewöhnen müssen und leicht gewöhnt, die gewohnten Bahnen seiner Zeitgenossen zu verlassen. Er hat seine eignen Gedanken, und mit solchen steht er auch im Dome, mitten im strudelnden Menschengewühl allein.

An ihm zieht das sinnberauschende Geflute wirkungslos vorüber; seine Augen immer nach derselben Richtung, verfolgt er die langsamen Bewegungen eines von dem hohen Gewölbe niederhängenden Kronleuchters, in dessen Schwingungen er eine gesetzmäßige Regel ahnt. Immer in gleichen Zeitabständen macht der Leuchter seinen Bogen gleichweit nach beiden Seiten; wenn der Schwung seine Kraft verloren hat, kehrt er um, erst langsam, dann mit steigender Geschwindigkeit bis zur Mitte, dann wieder mehr und mehr sich verzögernd, bis er endlich auch auf der andern Seite wieder umkehrt und die gleiche Bahn in gleicher Weise zurückgeht. Und hinter ihm schwingt, ein andrer Leuchter, für sich eben so regelmäßig, aber rascher wie der Jüngling an seinem Pulse zählt, und doch haben beide gleiche Form und gleiche Größe und befinden sich sonst unter gleichen Verhältnissen, nur ist der erstere an einem höheren Punkte des Gewölbes befestigt als die rascher schwingende Ampel.



Fig. 83. Galileo Galilei.

Sollte auf die sonst mathematisch strengen Bewegungen die Länge des Seiles Einfluß haben? An diese Beobachtungen und das Auftauchen dieser Fragen knüpft sich, wie die Sage will, die erste Galileische Entdeckung, die der **Pendelgesetze**, welche in ihrer lediglich auf direkte Beobachtung gestützten Entstehung und in ihrem durchsichtig geometrischen Charakter die epochemachende Richtung der Galileischen Forschungen überhaupt begründete.

Das Pendel. Ein Pendel ist jede schwere Masse, die an einem Punkte derart leichtbeweglich aufgehangen ist, daß sie unter dem Einfluß einer anziehenden oder auch einer abstoßenden Kraft um denselben schwingen kann. Bei den gewöhnlichen Pendeln ist diese Kraft die Schwerkraft; sie zieht die Masse des Pendels an und veranlaßt dieses zu Schwingungen, wenn der Schwerpunkt aus der senkrechten Lage unter dem Aufhängungspunkte herausgebracht worden ist.

Denken wir uns die schwere Masse nur als einen schweren Punkt und die Aufhängung als eine gewichtslose Linie, so haben wir ein **mathematisches Pendel** vor uns. In der Natur kommt ein solches nicht vor, indessen erleichtert die Vorstellung davon die Entwickelung der Gesetze. Selbst das einfachste Pendel, welches wir uns konstruieren können, indem

wir eine kleine metallene Kugel an einem Kokonfaden aufhängen, ist Einflüssen der Reibung, des Luftwiderstandes u. s. w. unterworfen, welche, wenn auch noch so gering, doch in einem merklichen Grade auf die Bewegung Einfluß haben.

Ist in Fig. 84 a der Aufhängungspunkt, e der schwere Punkt, so ist a e die Ruhelage. Bewegt man die Kugel nach c und läßt sie dann los, so wird sie infolge ihrer Schwere sich dem Mittelpunkte der Erde zu nähern, zu fallen suchen. Für ihre Bewegung gelten dieselben Gesetze, die wir beim Fall freier Körper beobachten können, und wir wollen uns in Kürze mit dem Notwendigsten aus denselben bekannt zu machen suchen.

Fallbewegung. Während im freien Weltraume, wenn wir denselben als völlig leer annehmen, ein Körper, der sich einmal mit einer gewissen Geschwindigkeit bewegt, in Ewigkeit sich in derselben geradlinigen Richtung und mit immer gleichbleibender Geschwindigkeit fortbewegen würde — denn es ist kein Widerstand da, der seine Kraft aufzehrt, und keine andre Kraft, deren Einwirkung die einmal eingeschlagene Richtung verändern sollte — so sind alle Bewegungen in der Nähe andrer Körper durch die von diesen ausgehende Anziehung beeinflußt. Ein in die Höhe geworfener Stein vermag nicht in seiner ursprünglichen geradlinigen Richtung fortzufliegen, die Schwere zieht ihn zur Erde herab, und da diese ununterbrochen wirkt, so setzt sich aus den beiden Antrieben, der Wurfkraft und der Schwerkraft, eine Bewegung zusammen, welche eine ganz besondere Flugbahn zur Folge hat. Die Geschwindigkeit ändert sich, denn die Kraft, welche den Stein von der Erde entfernen will, wird durch die unausgesetzt wirkende Schwere stetig verringert und endlich ganz vernichtet, die Bewegung nach oben verlangsamt allmählich, bis sie gleich Null wird (gleichförmig verzögerte Bewegung); von diesem Augenblicke an wirkt die Schwerkraft allein noch fort und es tritt das Herabfallen ein. War die Wurfbewegung eine senkrecht nach oben zu gerichtete, so wird die Flugbahn in derselben geraden Linie verharren, denn die Schwerkraft wirkt in derselben Richtung nur in entgegengesetztem Sinne. Wenn aber der Wurf in einer gegen den Horizont geneigten Richtung geschah, so nimmt die Flugbahn jene parabolische Gestalt an, die wir alle durch direkte Beobachtung schon kennen gelernt haben und deren theoretische Form man sehr leicht auf dem Papier konstruieren und berechnen kann.

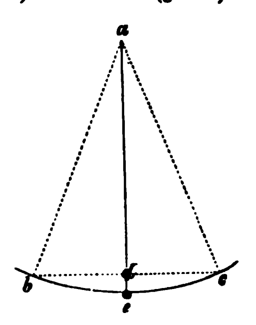


Fig. 84. Einfaches Pendel.

Läßt man den Stein frei von einem erhöhten Punkte herunterfallen, so daß er nur der Anziehung der Erde folgt, so ist seine Bewegung auch keine gleichbleibende. Er durchfällt, wie die Erfahrung lehrt, in der ersten Sekunde einen Raum von $4,_9$ m, in der zweiten $3 \times 4,_9 = 14,_7$ m, in der dritten $5 \times 4,_9$ m $= 24,_5$ m, in der vierten $7 \times 4,_9 = 34,_3$ m u. s. f., so daß er nach Ablauf von 4 Sekunden eine Höhe von $34,_3 + 24,_5 + 14,_7 + 4,_9$ m $= 78,_4$ m durchfallen hat und zu Ende der vierten Sekunde mit einer Geschwindigkeit von $39,_2$ m unten ankommt, während er zu Ende der dritten Sekunde eine Geschwindigkeit von $29,_4$ m, zu Ende der zweiten von $19,_6$ m, zu Ende der ersten Sekunde von $9,_8$ m erlangt hatte (gleichmäßig beschleunigte Bewegung). Diese Zahlen, welche in ihrer angeführten Größe natürlich nur für die Erde gelten — auf der Sonne würden sie, da dort die Schwere eine bedeutend größere ist, auch viel größer, auf dem Mond dagegen viel kleiner sein — lassen sich durch folgende Gesetze, die für alle Welträume Gültigkeit haben, allgemein ausdrücken:

Fallgesetze: 1) Die erlangten Geschwindigkeiten verhalten sich wie die während des Falles verflossenen Zeiten; also: wenn die Geschwindigkeit eines freifallenden Körpers zu Ende der ersten Sekunde $= 9,_8$ m ist, so ist sie zu Ende der zweiten, dritten, vierten Sekunde beziehentlich $= 2 \times 9,_8 = 19,_6$ m; $3 \times 9,_8 = 29,_4$ m; $4 \times 9,_8 = 39,_2$ m u. s. f.

2) Die zurückgelegten Fallräume jeder folgenden Sekunde wachsen wie die ungeraden Zahlen ($1 \times 4,_9$; — $3 \times 4,_9$; — $5 \times 4,_9$; — $7 \times 4,_9$ m u. s. w.).

3) Die im ganzen durchfallenen Räume verhalten sich wie die Quadrate der Fallzeiten ($1 \times 1 \times 4,_9$ m; — $2 \times 2 \times 4,_9$ m; — $3 \times 3 \times 4,_9$ m u. s. w.).

Galilei entdeckte diese Gesetze gleichmäßig beschleunigter Bewegung bei den Versuchen, die er auf dem Glockenturme zu Pisa mit freifallenden Körpern anstellte, und er erläuterte

sie zuerst 1638 in seinem Traktat über Mechanik. Er gab damals zugleich auch die schiefe Ebene als ein bequemes Mittel an, um sie durch den Versuch nachzuweisen, denn es zeigt eine auf einer geneigten Fläche herabrollende Kugel zwar nicht die Geschwindigkeit einer frei fallenden, das Verhältnis aber der Endgeschwindigkeit, der Zeiten und der durchlaufenen Wege bleibt doch immer dasselbe. Die viel später von dem Engländer Atwood erfundene Fallmaschine läßt freilich auf noch bequemere Weise die Beobachtung dieser Gesetze zu.

Die Fallgesetze treten nun, wie gesagt, auch in den Bewegungserscheinungen des Pendels zu Tage, und die Pendelgesetze sind nur die auf den einen speziellen Fall angewandten Gesetze des freien Falles. Es ist nämlich die Bewegung desselben nichts andres, als das Herabfallen von einem höheren Punkte nach einem niedriger gelegenen einerseits, und andrerseits ein Wiederaufsteigen infolge der Trägheit oder der lebendigen Kraft, welche die schwere Masse des Pendels während des Fallens aufgenommen hat, das Ganze also gewissermaßen ein Fallen und ein Wiederaufsteigen auf einer schiefen Ebene oder vielmehr in einer gekrümmten Rinne, welche in derselben Weise anzusehen ist wie eine schiefe Ebene. Der Ausdruck lebendige Kraft für den Zustand der in Bewegung befindlichen Materie ist zuerst von Leibniz angewendet, wahrscheinlich von Galilei angeregt worden, der sich in seinen Gesprächen über Mechanik öfters des Ausdrucks Peso morto bedient, um eine in Ruhe gesetzte Kraft zu bezeichnen.

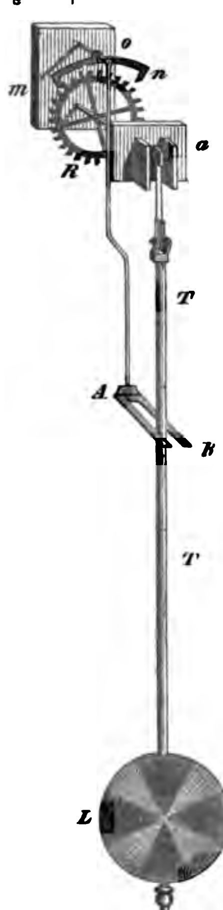
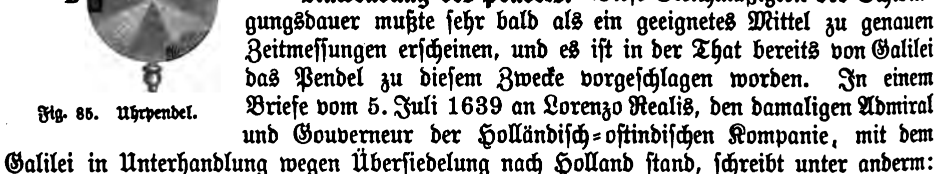


Fig. 85. Uhrpendel.

Wird in der ersten Hälfte der Bewegung während des Fallens die Geschwindigkeit stetig beschleunigt, so verzögert sie sich eben so gleichmäßig in der zweiten. In der Mitte, da, wo der schwere Punkt seinen tiefsten Stand hat, hat er auch die größte Geschwindigkeit, und zwar ist dieselbe nach einem leicht nachweisbaren Gesetz genau so groß, als sie auch sein würde, wenn er nicht von c nach e (Fig. 84) im Bogen, sondern von der Höhe d nach e frei gefallen wäre.

Auf die Schwingungszeit, d. h. die Dauer, welche zwischen dem Hin- und Hergange vergeht, hat die Substanz und das Gewicht, aus welcher das Pendel besteht, keinen Einfluß; ebenso ist es — für nicht zu große Ausweichungen — gleichgültig, wie groß der Ausschlag ist. Es kommt lediglich die Entfernung des Schwerpunktes e vom Schwingungspunkte, die Pendellänge, in Betracht. Je kleiner diese Pendellänge ist, um so rascher schwingt das Pendel, und zwar verhalten sich die Schwingungsdauern zweier verschieden langer Pendel wie die Quadratwurzeln aus ihren Längen. Ein Pendel von 1 m Länge macht zwei Schwingungen, während ein andres von 4 m Länge nur eine einzige ausführt.

Anwendung des Pendels. Diese Gleichmäßigkeit der Schwingungsdauer mußte sehr bald als ein geeignetes Mittel zu genauen Zeitmessungen erscheinen, und es ist in der That bereits von Galilei das Pendel zu diesem Zwecke vorgeschlagen worden. In einem



Briefe vom 5. Juli 1639 an Lorenzo Realis, den damaligen Admiral und Gouverneur der Holländisch-ostindischen Kompanie, mit dem Galilei in Unterhandlung wegen Übersiedelung nach Holland stand, schreibt unter anderm:

„Zur Zeitmessung bediene ich mich eines Pendels von Messing oder Kupfer, welchem ich die Form eines Sektors von 12—15 Graden gebe, dessen Radius 4 Spannen lang ist. Den Sektor verdicke ich im mittlern Radius und verdünne ihn sehr scharf auf beiden Seiten, damit ihm, soweit möglich, die Luft nicht widerstehe. An seinem Mittelpunkte hat er eine Öffnung, durch welche ein Eisen geht, wie jenes, um welches sich eine Wage bewegt. Dieses Eisen endigt sich unten in eine scharfe Ecke und ruht auf zwei erzenen Stützen.“

„Wenn nun“, sagt er weiter, „der Sektor weit vom bleirechten Stande entfernt und seinem eignen Falle überlassen wird, so legt er eine Menge Schwingungen zurück, ehe er still steht. Damit er aber diese Schwingungen fortsetze und immer weit aushole, so muß derjenige, der ihm beisteht, ihm von Zeit zu Zeit einen starken Stoß geben.“

Die Schwingungen zu zählen, dazu schlug Galilei ein kleines Stirnrad vor, welches beizufügen wäre, und das sich bei jeder Schwingung um einen Zahn fortbewegt. Ob der frühere Zeitmesser des Galilei, dessen er in einem Briefe an seinen Freund Micanzio Erwähnung thut (5. November 1637), auch in dieser Weise eingerichtet war, wissen wir nicht. Es soll aber derselbe, wie Galilei schreibt, nicht nur Stunden, sondern auch Minuten und Sekunden angezeigt haben. Trotzdem aber kann man nach der spätern Beschreibung nicht anders, als das Instrument doch noch für ein sehr mangelhaftes und unvollkommenes halten. Man würde aber sehr unrecht thun, wenn man die Erinnerung daran ohne weiteres in die Rumpelkammer werfen wollte, wie es von denen geschieht, welche die Erfindung der Pendeluhr einzig und allein dem Mathematiker Huyghens zuschreiben möchten. Die wesentlichste Vervollkommnung, hauptsächlich die Ankerhemmung und die Zufügung schwerer Gewichte, durch welche der Gang erhalten wird, stammt allerdings von diesem (1657), die erste Idee aber ausgesprochen zu haben, dieser Ruhm dürfte Galilei doch wohl nicht vorzuenthalten sein.

In welcher Art Huyghens das Pendel anwandte, um das Werk der Uhren in Gang zu setzen, zeigt die Abbildung Fig. 85. Das Pendel L schwingt in seiner Aufhängung a hin und her, bei jeder Schwingung die Klammer A B mitnehmend, welche sich an ihrem obersten Ende um die horizontale Achse O dreht. An derselben Achse befindet sich eine nach zwei Seiten mit den Haken m und n in die Zähne des Rades R eingreifende Sperrklinke (ihrer Form wegen Anker genannt). Das Rad selbst wird durch ein daran hängendes Gewicht in Umdrehung versetzt; es kann aber nicht ohne Unterbrechung umlaufen, weil stets der Anker mit einem der Haken als Hemmung vorliegt. Durch die Schwingungen des Pendels erst erfolgt jedesmal eine Auslösung, das Rad rückt um einen Zahn, und durch den kleinen Stoß, welchen dabei der Ankerhaken von dem verlassenen Zahne erleidet und welcher durch die Gabel auf die Pendelstange T übertragen wird, behält das Pendel immer die gleiche Weise seiner Ausschläge. Die Einteilung der Zahnräder, welche schließlich die Minuten- und Stundenzeiger in Umdrehung setzen, ist von der Dauer der einzelnen Ausschläge bedingt. Feinere Korrekturen des Ganges werden durch Verrückung des Schwerpunktes, durch Verschiebung der Linse L an der Pendelstange bewirkt.



Fig. 86. Christian Huyghens.

Verkürzt oder verlängert man das Pendel einer Uhr, so wird dieselbe von dem Augenblicke an anders gehen; im ersten Falle rascher, im zweiten langsamer. Solche Veränderung der Länge bewirken aber schon die Temperaturunterschiede, welchen die Uhren immer ausgesetzt sein werden, und da man schon frühzeitig diesen für die Genauigkeit der Uhren nachteiligen Einfluß erkannte, so hat man auch gleich nach Mitteln gesucht, um ihn, wenn nicht zu beseitigen, so doch zu paralysieren. Merkwürdiger, aber ganz rationeller Weise verfiel schon Graham 1715 auf das Auskunftsmittel, das auch heute noch in Anwendung ist, nämlich die schädliche Einwirkung durch dieselbe Kraft, die sie hervorgerufen, auch korrigieren zu lassen, indem er die Entfernung des Schwingungspunktes vom Drehpunkte dadurch immerwährend gleich erhielt, daß er anstatt des schweren, linsenförmigen Körpers ein längliches Gefäß mit Quecksilber an die Pendelstange befestigte. Wird durch die Wärme die

Pendelstange verlängert und damit der Schwingungspunkt abwärts gerückt, so wird anderseits das Quecksilber im Gefäß ausgedehnt und etwas in die Höhe steigen, wodurch sein Schwerpunkt sich etwas nach oben verlegt. Durch genaue Beobachtung wird sich leicht diejenige Menge des Quecksilbers ergeben, welche den Unterschied ausgleicht.

Derartige Kompensationspendel sind noch hier und da in Gebrauch, jedoch hat eine andre Anwendung desselben Prinzips noch allgemeinere Einführung gefunden, das ist diejenige auch von Graham herrührende Einrichtung, bei welcher die Pendelstange nicht aus einem einzigen Stabe, sondern aus einem System von Stäben aus verschiedenen Metallen besteht, deren Ausdehnung durch die Wärme sich gegenseitig aufhebt. Die Abbildung Fig. 87 gibt eine Erläuterung dazu. Die Stange dieses Pendels, welches seiner Gestalt nach auch Rostpendel genannt wird, besteht aus einem System von neun Stäben, von denen die einen nach obenhin, die andern nach untenhin bei ihrer Ausdehnung sich strecken. Ist also die mittlere Stange d eine Eisenstange, so kehrt das Eisen wieder als Material für die Stangen c und b und ihre entsprechenden symmetrischen Gegenstücke. Dagegen sind dann die in unsrer Zeichnung schwarz angedeuteten Stangen a' und b' sowie die symmetrischen Gegenstücke aus einem andern Metall, etwa aus Messing, zu bilden, welches sich bei gleicher Erwärmung mehr ausdehnt als das Eisen. Sind nun die gegenseitigen Längen so bemessen, daß die Gesamtlängenzunahme der Eisenstangen der Zunahme der Messingstangen gleich ist, so wird der Punkt b' immer genau denselben Abstand vom Schwingungspunkte behalten müssen.

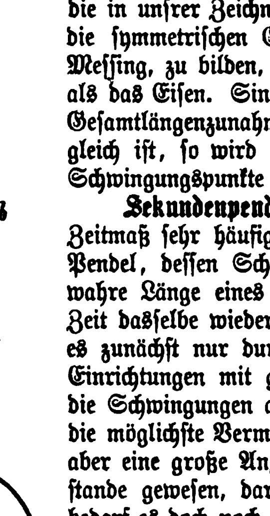


Fig. 87. Kompensationspendel.

Sekundenpendel. Zu physikalischen Zwecken benutzt man als Zeitmaß sehr häufig das einfache Sekundenpendel, das ist ein solches Pendel, dessen Schwingungsdauer genau eine Sekunde beträgt. Die wahre Länge eines solchen Pendels zu bestimmen und damit zu jeder Zeit dasselbe wieder herstellen zu können, ist nicht so leicht. Denn da es zunächst nur durch Versuche gefunden werden kann, so müssen die Einrichtungen mit ganz besonderer Sorgfalt getroffen werden, damit die Schwingungen auch genügend lange Zeit sich fortsetzen. Dazu ist die möglichste Verminderung aller Reibung erste Bedingung. Hat man aber eine große Anzahl von Schwingungen beobachtet, und ist man im stande gewesen, daraus die Zeitdauer einer einzelnen zu berechnen, so bedarf es doch noch der Bestimmung der Entfernung des Schwerpunktes vom Schwingungspunkte, und diese Arbeit stößt auf nicht minder große Schwierigkeiten.

Es ist nämlich ein großer Unterschied, ob der schwingende schwere Körper an einem gewichtslosen oder doch so gut wie gewichtslosen Faden aufgehängt ist, oder ob die Stange selbst eine verhältnismäßige Schwere besitzt. Und die an sich so einfachen Pendelgesetze erleiden eine noch weiter gehende Komplizierung, wenn der Aufhängungspunkt des Pendels sich gar innerhalb der schweren Stange befindet, so daß schwere Massen oberhalb und unterhalb des Aufhängungspunktes in Bewegung gesetzt werden müssen.

Einem solchen Falle begegnen wir in dem durch Abbildung Fig. 88 dargestellten Metronom, welches nach seinem Erfinder den Namen des Mälzelschen Metronoms erhalten hat. Es ist dies bekanntlich jener kleine Apparat, dessen man sich in der Musik bedient, um das Tempo der Musikstücke, die richtige Taktdauer, danach zu bestimmen. Die Hauptbestandteile des Metronoms sind: eine schwere Bleikugel, an einem Stabe angebracht, welcher um eine horizontale Achse schwingt. Dieser Stab verlängert sich über den Aufhängungspunkt nach oben und trägt an dieser, übrigens mit einer Skala versehenen Verlängerung ein verschiebbares Gegengewicht. Alles andre ist Nebenwerk; das Uhrwerk dient dazu, den Apparat im Gange zu erhalten. Die untere schwere Kugel wirkt immer an demselben Abstande, und sie würde, wenn sie allein schwingen könnte, auch ihre Oscillationen immer mit derselben Geschwindigkeit vollbringen. So aber muß sie das Gegengewicht, welches immer das Bestreben hat, eine Bewegung im entgegengesetzten Sinne zu vollbringen, mitbewegen, und dadurch verlangsamen sich ihre Schwingungen, je nachdem das Gegengewicht

mehr oder weniger nahe gerückt ist. Sie können endlich ganz aufhören, wenn es so weit an dem Stabe in die Höhe geschoben würde, daß die Entfernung des Schwerpunktes vom Drehungspunkte sich zu der Entfernung des Schwerpunktes der unteren Masse umgekehrt verhielte wie die Größen der beiden Gewichte. Wir hätten dann einen zweiarmigen, im Gleichgewicht befindlichen Hebel vor uns, der in jeder Stellung in Ruhe sein würde. Je näher man daher das obere Gegengewicht dem Drehungspunkte schiebt, um so geringer wird sein verzögernder Einfluß, und die Schwingungsdauer nähert sich um so mehr derjenigen, welche der unteren Kugel allein zukommt.

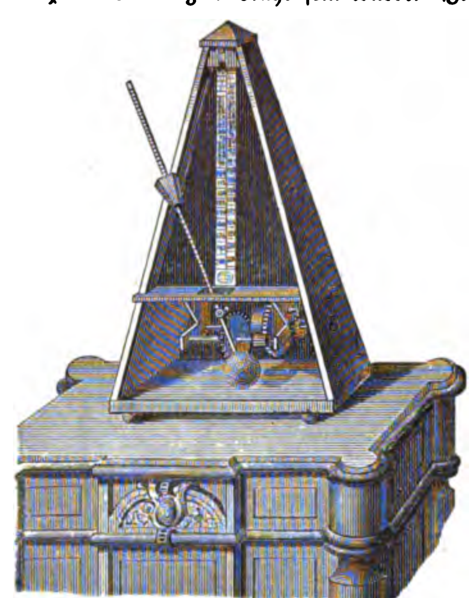


Fig. 88. Metronom von Mälzel.

Das Mälzelsche Metronom ist ein sogenanntes zusammengesetztes Pendel, d. h. ein solches, dessen Masse nicht als ein einziger materieller Punkt betrachtet werden kann. Wenn man von der Länge eines solchen Pendels spricht — und streng genommen sind alle schwingenden Körper der Natur zusammengesetzte Pendel — so versteht man darunter diejenige Länge, welche ein einfaches Pendel haben müßte, wenn dasselbe gleichschnell schwingen sollte. Der Punkt, der die Länge des dem zusammengesetzten Pendel entsprechenden einfachen Pendels von gleicher Schwingungsdauer von der Drehachse angibt, heißt der Schwingungspunkt; er braucht gar nicht in der Masse selbst zu liegen, sondern kann, wie manchmal beim Metronom, weit darüber hinausfallen.

Die Entfernung des Schwingungspunktes vom Drehpunkte genau zu finden, ist man nun durch das sogenannte Reversionspendel im stande. Wenn man nämlich in dem Schwingungspunkte eines zusammengesetzten Pendels, etwa einer gleichmäßig gearbeiteten vierseitigen Eisenstange, eine Messerschneide anbringt und das Pendel um diese schwingen läßt, so wird der frühere Drehpunkt jetzt zum Schwingungspunkte; man probiert so lange, bis das Pendel auf beiden Seiten genau dieselbe Schwingungsdauer zeigt; die Entfernung der beiden Schneiden gibt dann die Länge. Beträgt also die Schwingungsdauer auf beiden Schneiden genau eine Sekunde, so ist auf diese Art die Länge des Sekundenpendels leicht abzunehmen. Von der Verwechselung, Umkehrung der beiden Punkte, hat diese Vorrichtung den Namen Reversionspendel erhalten. Seine Erfindung stammt von dem deutschen Physiker Bohnenberger, indessen hat es erst der Engländer Kater, der von Bohnenbergers Vorschlag nichts wußte, zu dem für die physische Geographie so folgenreichen Zwecke angewandt.

a

b

Fig. 89. Reversionspendel.

Der Foucaultsche Versuch. Wie das Pendel bereits durch seine Abweichung in der Nähe großer Bergmassen ein Mittel geworden ist, die Dichtigkeit und das Gewicht der Erde zu bestimmen, wie es ferner — davon werden wir uns sehr bald überzeugen — deren äußere Gestalt förmlich im Bilde zeigt, so vermag es auch die Rotation, die tägliche Drehung der Erde um ihre Achse, nachzuweisen, und es ist in dieser Beziehung von Foucault im Jahre 1850 jener augenscheinliche Beweis angestellt worden, welcher lauter als alle scheinbare Bewegung der Gestirne und überzeugender zu dem Beobachter spricht, weil man hier an einem nächstliegenden Gegenstande gleichsam ein sich Fortstehlen des Bodens unter dem Fuße bemerken kann.

Der Foucaultsche Versuch geht von dem allgemeinen Gesetz aus, daß schwingende, drehende, überhaupt in einer Ebene sich bewegende Körper unter allen Umständen sich immer in derselben Ebene zu bewegen das Bestreben haben; sie behalten, wie man dies ausdrückt, ihre Schwingungsebene bei. Beispiele für dies Gesetz liefert die Natur in reichlicher Menge von dem drehenden Kreisel, der sich dadurch auf der Spitze balancierend erhält,

bis zu der Kanonenkugel, die durch die gewundenen Züge des Laufes zu einer Drehung um sich selbst gezwungen wird, deren Beständigkeit die sichere Innehaltung der Flugbahn bedingt.

Nach demselben Gesetz sucht auch das schwingende Pendel seine Bahn, die Schwingungsebene, unter allen Umständen beizubehalten. Wird z. B. in Fig. 90 an dem Haken a der Faden eines schweren Bleilots befestigt und dasselbe in Schwingungen versetzt, so daß es meinetwegen seine Ausschläge in der Richtung a b c macht, so wird es diese Richtung immer beibehalten, wenn auch das Gestell, der untenliegende Kreis mit dem Stativ, welches die Aufhängung trägt, um seine Achse gedreht wird, so daß es aus der Lage 1 (Fig. 90) durch die Lage 2 (Fig. 91) hindurch den ganzen Kreis durchläuft.

Könnte man also genau über dem Nordpol in der Erdachse ein Pendel aufhängen, so würde dasselbe, wenn sich die Erde wirklich, wie hier das Gestell, um ihre Achse dreht, scheinbar nicht in seiner Schwingungsebene verharren, sondern bei jedem Hin- und Hergange eine kleine Abweichung zeigen und endlich wie der Zeiger einer Uhr in 24 Stunden einmal den Kreis durchschwungen haben. Es wäre dies aber nur scheinbar, denn in der That würde es nach dieser Zeit noch genau dieselbe Schwingungsebene — in der Richtung gegen die Sterne haben; was sich gedreht hat, ist der Horizont selbst gewesen und mit ihm die Erdkugel.

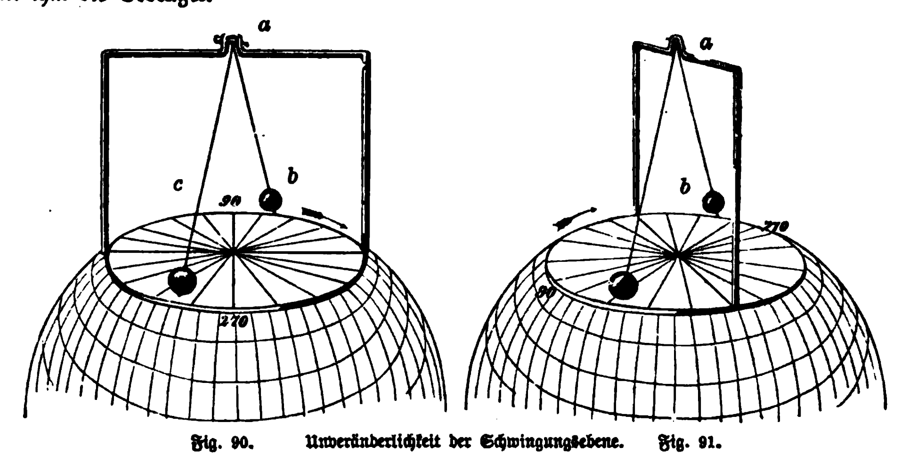


Fig. 90. Unveränderlichkeit der Schwingungsebene. Fig. 91.

Man kann nun zwar das Experiment nicht über dem Pole selbst vornehmen, indessen ist dies auch durchaus nicht notwendig. Die Erscheinung, daß der Horizont unter einem schwingenden Pendel förmlich im Kreise sich verschiebt, tritt auch unter allen Längengraden, bis hinab an den Äquator, ein; wir haben den Fall mit dem Nordpol, als den einfachsten, nur der Erklärung wegen herausgegriffen. Überall zeigt das Pendel jene Abweichung nach Osten, nur genau unter dem Äquator erleidet es keine solche scheinbare Änderung der Schwingungsebene. Bis an diese Grenze aber durchläuft das schwingende Pendel nach und nach den ganzen Kreis des Horizonts. Freilich braucht es dazu um so mehr Zeit, je näher der Ort dem Äquator liegt, und um so weniger, je näher an einem der Pole das Pendel schwingt, und während es über dem Pole selbst genau in 24 Stunden einmal den Umkreis durchschwingt, kommt es damit z. B. in Königsberg (54° 42′ nördl. Br.) erst in 28 Stunden 3 Minuten, in München (48° 8′) in 31 Stunden 45 Minuten, in Rom (41° 54′) in 35 Stunden 33 Minuten, in Mexiko (19° 25′) erst in 71 Stunden 26 Minuten, in Cayenne (4° 56′) gar erst in 11 Tagen 11 Stunden 35 Minuten und bei Quito am Äquator nie oder erst in unendlich langer Zeit zustande.

Bedingung, um mit voller Sicherheit die Beobachtung machen zu können, ist, daß man ein sehr schweres Pendel von sehr großer Schwingungsdauer anwendet, dasselbe also an einem möglichst hohen Punkte aufhängen läßt. Je schwerer die schwingende Kugel nämlich ist und je langsamer die Bewegung, um so geringer können die zufälligen störenden Einflüsse einwirken, welche den regelmäßigen Gang verändern könnten. Man hat daher 1850, wo man den kurz vorher bekannt gewordenen Versuch Foucaults an vielen Orten

wiederholte, gewöhnlich die hohen Gewölbe der Kirchen und Dome zu diesem Experiment benutzt, und namentlich sind im Kölner und im Speierer Dome durch Genauigkeit der erlangten Resultate ausgezeichnete Wiederholungen gemacht worden.

Abplattung der Erde. Man wußte schon seit Aristoteles, daß die Form unsrer Erde in der That nicht im geringsten den phantastischen Vorstellungen entspreche, welche die ältesten Kosmologen von ihr hatten. Pythagoras sprach es zuerst aus, aber der große Philosoph aus Stagira brachte die ersten Beweise dafür, daß der Weltkörper, welchen wir bewohnen, die Gestalt einer Kugel habe.

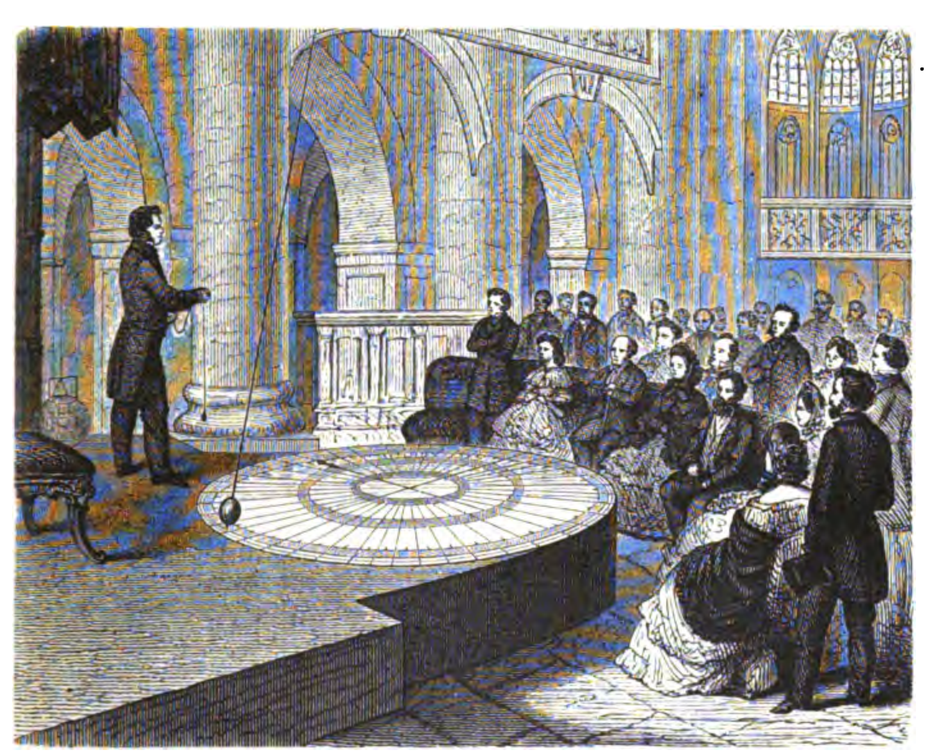


Fig. 92. Der Foucaultsche Pendelversuch zum Beweis für die Achsendrehung der Erde.

Nach dieser Ansicht müßte die Anziehung vom Mittelpunkte auf allen Teilen der Oberfläche eine gleichgroße, ebenso die beschleunigende Kraft der Schwere überall dieselbe sein und demzufolge auch das Sekundenpendel, gleichviel ob es unter dem Äquator oder unter dem Pole schwinge, immer genau dieselbe Länge haben. Man nahm dies auch bis zum Jahre 1672 als ausgemacht an, obgleich Newton schon früher die regelmäßige Kugelform der Erde bezweifelt und ihr aus Gründen, auf die wir bald zu sprechen kommen, eine Ausbauchung um den Äquator oder eine Abplattung an den Polen zugeschrieben hatte, wie sich eine solche aus den späteren Erdmessungen auch mit Evidenz erwiesen hat.

In dem genannten Jahre aber unternahm der Astronom Richer eine wissenschaftliche Reise nach Cayenne. Als er hier seine Pendeluhr aufstellte, fand er, daß dieselbe, obgleich sie vor seiner Abreise genau reguliert worden war, täglich um $2^1/_2$ Minute nachging. Wenn auch alle die Einflüsse, welche die verschiedene Temperatur und andre klimatische Verhältnisse ausüben konnten, auf das gewissenhafteste in Berücksichtigung gezogen wurden, so blieben doch die Schwingungen des Pendels zu langsam, und die Uhr ging erst wieder richtig, nachdem man das Sekundenpendel um $^5/_4$ Linie verkürzt hatte. Es stellte sich durch die genauesten Untersuchungen heraus, daß das Sekundenpendel in Paris $^5/_4$ Linie länger war als in Cayenne, und daraus folgte, daß die beschleunigende Kraft der Schwere nach dem Äquator hin an Stärke abnahm, nach den Polen hin aber an Stärke zunahm. Die

Ursache davon konnte nur die schon von Newton behauptete Unregelmäßigkeit in der Gestaltung der Erde sein, welcher zufolge der Äquator einen größeren Durchmesser haben sollte als die Pole.

Uns ist jetzt durch die seit jener Zeit häufig wiederholten und mit dem größten Aufwande von Scharfsinn und Gewissenhaftigkeit ausgeführten Gradmessungen bekannt, daß jener längste (Äquatorial-) Durchmesser der Erde ungefähr um sechs Meilen den kürzesten (Polardurchmesser) übertrifft, indem der eine ungefähr 1719, der andre nur 1713 Meilen zählt. Die Zwischenwerte innerhalb dieser beiden Grenzen kommen denjenigen Punkten zu, welche vom Äquator nach den Polen hin auf demselben Meridian liegen; und es variiert mit ihnen gleichmäßig die Länge des Sekundenpendels an den verschiedenen Orten der Erde. Es beträgt z. B. diese Länge nach Sabine für

St. Thomas	unter	0° 24′ 41″	:	39,012 Pariser Zoll,
Jamaika	"	17° 56′ 7″	N :	39,035 " "
London	"	51° 31′ 8″	N :	39,139 " "
Spitzbergen	"	79° 49′ 58″	N :	39,215 " "

Die Erde hat, um einen grobsinnlichen Vergleich zu gebrauchen, die Form einer Orange, sie ist ein Sphäroid, ein Rotationsellipsoid. Dasselbe Pendel, dessen Abweichung am schottischen Berge Shehalien uns früher die Erde zu wägen lehrte, dasselbe Pendel könnte es sein, welches uns Form und Gestalt der Erde beschrieben hat: einer der allereinfachsten Apparate, die wir zu denken im stande sind — und doch hat seine geistreiche Anwendung und die verständige Lesung seiner scheinbar armen Sprache uns mit den wunderbarsten Kenntnissen bereichert. Und nicht nur das Bestehende und Tausende von Meilen Entfernte stellt es zum Vergleiche nebeneinander, Pol und Äquator, wie er uns heute erscheint; es führt wie ein fabelhaftes Fernrohr unsern Blick zurück in ungemessene Zeiten und läßt uns Zuschauer werden an dem Entstehungsakt unsrer Erde und der mit ihr kreisenden Gestirne. Denn gehen wir von der gewonnenen Kenntnis der Erdgestalt weiter und fragen wir nach den Umständen, unter welchen sich die Masse unsres Planeten in so merkwürdiger Weise rundete, so bestätigt sich auch hierin wieder die Annahme eines feurig-flüssigen Zustandes der Erdmasse als eines früheren Bildungsstadiums. Die wirkende Kraft, welche die Abweichung von der vollkommen kugeligen Gestalt des geschmolzenen Welttropfens hervorbrachte, war keine andre als die sogenannte Zentrifugalkraft.

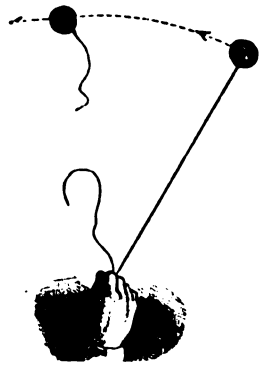
Zentrifugalkraft. Bekanntlich bezeichnet man mit diesem Namen diejenige Kraft, welche einen Körper, der sich in stetiger Weise um einen Punkt bewegt, von diesem Punkte zu entfernen strebt. Man vermag ein offenes Gefäß mit Wasser derart herumzuschleudern, daß die Flüssigkeit, selbst wenn die Öffnung nach unten gekehrt ist, doch nicht herausfällt; sie wird im Gegenteil auf den Boden des Gefäßes einen um so größeren Druck ausüben, je rascher die Bewegung ist. Legt man einen Ball lose auf eine Scheibe, wie es Fig. 93 zeigt, und schwingt diese im Kreise herum, so wird der Ball nicht herunterfallen, sondern im Gegenteil fest an die Scheibe angepreßt werden. Ein Stein, an eine Schnur gebunden und um den Kopf geschwungen, kann den Faden zerreißen; durch ihre schnelle Umdrehung sind gewaltige Mühlsteine und Schwungräder der Dampfmaschinen mitten auseinander geschleudert worden; David sowohl als die alten Römer, welche, mit der Wirkung explodierender Körper noch unbekannt, aus großartigen Wurfmaschinen viele zentnerschwere Steine oder Zündstoffe in die belagerten Orte schleuderten, sie benutzten beide dieselbe Kraftwirkung.

Die Zentrifugalkraft ist aber durchaus nicht, wie man aus dem Bisherigen schließen möchte, eine besondere, eigentümliche Kraft. Sie ist vielmehr nur eine Erscheinungsweise der Trägheit, der Beharrung, eine Folge der lebendigen Kraft, welche durch irgend einen Impuls oder durch die stetige Wirkung einer Kraft dem sich bewegenden Körper mitgeteilt worden ist. Ebenso ist der Name Zentripetalkraft, welcher die Kraft bezeichnet, die von dem Bewegungsmittelpunkte auf den bewegten Körper ausgeübt wird und das Fortfliegen nach der Seite hindert, nur von relativer Bedeutung: bei der Schleuder die Festigkeit des Fadens, bei dem Ball auf der Scheibe der Widerstand, welchen die Scheibe der Fortbewegung des Balles entgegensetzt, bei den Planeten die Anziehung der Sonne u. s. w. Betreffs der Zentrifugalkraft haben wir es eigentlich nur mit derjenigen Kraft zu thun, welche die kreisende oder schleudernde Bewegung hervorruft, sei diese die Kraft unsrer Arme, welche

die Schleuder schwingt, sei es die Elastizität der gespannten Seile bei der Wurfmaschine, Wind- oder Wasserkraft beim Mühlsteine, oder — wie die Bewegung der Gestirne — ein noch unerforschter Impuls.

Wenn ein Körper nur einer einzigen Kraft ausgesetzt wäre, so würde ihm diese eine geradlinige Bahn vorschreiben. In der ganzen Natur kommt aber dieser Fall nie vor. Immer treten mehrere Kräfte miteinander in Wechselwirkung, und wenn von diesen die eine stetig aus einem Punkte wirkt, so kann sie, wenn sie stark genug ist, die Bewegung zu gekrümmten Bahnen zwingen, zu deren Mittelpunkt sie wird.

Allgemein wird diese Kraft die Zentripetalkraft genannt; sie ist in der bei weitem größten Zahl von natürlichen Erscheinungen die Schwere. Der Mond dreht sich um die Erde, er folgt dem ihm gewordenen Impulse eigner Bewegung, aber jene allherrschende Kraft hält ihn an einem unsichtbaren Faden und zwingt ihn jeden Augenblick zum Mutterkörper zurück. Um die Sonne wandelt in gleicher Weise die Erde und mit ihr ein zahlreiches Heer großer Planeten und ein zahlloses kleiner Planetoiden. Auch die Sonne selbst steht nicht im ruhenden Pol der Welt, sie rückt im All, und endlich folgt das ganze Gestirn des Himmels einem Triebe, der die ewige Bewegung vielleicht an einen einzigen nichtigen Punkt des Raumes knüpft.



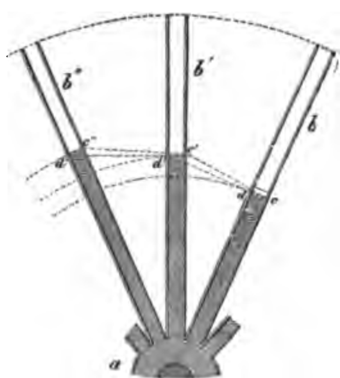




Fig. 93. Bewegung in tangentialer Richtung.

Fig. 94. Bewegung in radialer Richtung.

Sobald die Anziehung aufhört und der bewegte Körper seiner ihm innewohnenden Geschwindigkeit folgen kann, schlägt er einen geraden Weg ein, welcher stets in der Richtung der letzten Tangente (Fig. 93) liegen muß. Er strebt aus dem Kreise hinaus. Daß er natürlich unter Umständen auch in radialer Richtung nach außen drängt, erfolgt aus der Betrachtung der nächsten Figur (Fig. 94). Eine mit Wasser gefüllte Röhre b werde im Kreise von rechts nach links um den Punkt a herumgeschleudert, so daß sie mit der durch die punktierten Linien c c' und d d', c' c'' und d' d'' angedeuteten Geschwindigkeit nach b' b'' 2c. gelangt. In b haben nun die Teilchen c und d der Oberfläche Richtung und Geschwindigkeit der punktierten Linien, sie wollen in diesem Sinne weiter fliegen und es muß daher in der Lage b' das Teilchen c nach c' und das Teilchen d nach d' gelangt sein. Was für zwei Teilchen gilt, das gilt für die ganze in der Röhre befindliche Wassermasse. Dieselbe steigt darum nach außen, sie flieht vom Mittelpunkte, und aus dieser Erscheinung hat man den Namen Zentrifugalkraft gebildet; sie ist nichts andres als die Tangentialkraft, welche sich hier nur scheinbar in radialer Richtung äußert. Je größer die Geschwindigkeit ist, um so größer wird auch das Bestreben, in der Tangentialrichtung vorwärts zu fliegen. Es muß daher ein um sich selbst rotierender weicher Körper da seine größte Ausdehnung zeigen, wo seine Rotationsgeschwindigkeit am bedeutendsten ist, weil dort die Masse mit der größten Energie sich vom Mittelpunkte zu entfernen strebte.

An der Ausbauchung am Äquator sehen wir diese Kräftewirkung erhärtet, im wahren Sinne des Wortes. Frappanter aber noch ist die äußere Form des Saturn, bei welchem Planeten infolge der viel rascheren Drehung die Zone des Äquators so weit nach außenhin getrieben wurde, daß sie endlich von der Mutterkugel sich lostrennte und jetzt als ein in der Äquatorialebene freischwebendes Ringsystem, mit dem Kerne nur durch das Band

der Schwere eng verbunden, ihre Bahn durchläuft. Plateau hat die Bildung des Saturn auf künstliche Weise nachgeahmt, indem er große flüssige Tropfen aus einem Gemisch von Terpentin, Wachs u. dergl., welche genau das spezifische Gewicht des Wassers haben, in ein Gefäß mit Wasser brachte und dieses dann um seine Achse in rasche Rotation versetzte. Gelingt es, einen solchen Tropfen genau in die Mitte zu dirigieren, so daß er bei der Drehung mit seiner Mittelachse unverrückt fest bleibt, so plattet er sich erst an den Polen ab, der Äquator schwillt an, bei weitergehender Beschleunigung löst sich die Äquatorialzone ab und umgibt wie der Saturnring den Kern; ist die Bewegung aber nicht ganz regelmäßig oder verrückt sich die Achse nur in etwas, so verliert der Ring seine regelmäßige Form, er verdickt sich an derjenigen Stelle, die am weitesten schwingt, mehr und mehr, und alle Masse zieht sich schließlich dahin; infolgedessen zerreißt er an dem gegenüberliegenden Punkte und es bildet sich aus dem Ringe ein kugelförmiger Mond. Wahrscheinlich sind die Trabanten der Planeten alle auf ähnliche Weise entstanden, und die Meteorsteine vielleicht Rudera solcher Zerreißungen, also kleine Planetenmonde.

Die **Anwendungen der Zentrifugalkraft**, die man in der Technik gemacht hat, sind nicht minder interessant als die natürlichen Erscheinungen; sie liegen auf den verschiedenartigsten Gebieten. Mit Hilfe rasch rotierender Räder schleudert man das Wasser bis zu den bedeutendsten Höhen empor oder über weite Flächen hinweg. Zentrifugalpumpen und Zentrifugalspritzen sind in mannigfacher Einrichtung konstruiert worden. Denn sogar die Luft folgt, wie jeder andre schwere Körper, der Tangentialkraft und drängt nach außen, wenn sie zwischen zwei hohlen Scheiben, die in rasche Umdrehung versetzt werden, mit im Kreise herumbewegt wird. Dadurch ist es möglich geworden, jene großartigen Luftpumpen herzustellen, wie sie zum Betriebe der pneumatischen Paketbeförderung in London jetzt in Gebrauch sind und auf die wir in einem der nächsten Kapitel zu sprechen kommen.

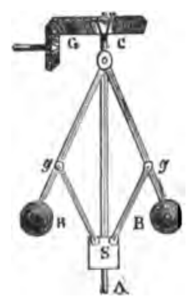


Fig. 95. Zentrifugalregulator.

Die Wirkung der Zentrifugalkraft ist in der Maschinenbaukunst ein ausgezeichnetes Mittel geworden, um die Geschwindigkeit des Ganges der Maschinen zu regulieren. Die sogenannten Zentrifugalregulatoren bestehen aus zwei schweren Kugeln BB (Fig. 95), welche mittels zweier Schenkel an einer Welle A befestigt sind. Diese Welle wird durch die Maschinenkraft, Dampf- oder Wasserkraft, in Umdrehung versetzt, und zwar in um so raschere, je rascher die Maschine arbeitet. In der Abbildung vermitteln die gezahnten Räder G und C diese Bewegung. An der Umdrehung nehmen natürlich die Kugeln teil und schleudern infolge der Zentrifugalkraft sie nun bald mehr bald weniger nach außen; dadurch aber ziehen sie den Schieber S an der Welle A auf oder nieder, je nachdem der Gang der Maschine sich beschleunigt oder verlangsamt.

Denkt man sich nun, daß mit dem Schieberkasten S direkt ein Hebel in Verbindung steht, durch dessen Auf- und Niedergang ein Hahn gedreht wird, welcher den Dampfstrahl aus dem Dampfkessel treten läßt, so sieht man leicht ein, daß jede Änderung in der Schnelligkeit des Ganges der Maschine sich augenblicklich selbst korrigieren muß. Denn wenn die Kraft zu langsam wirkt, so fallen die Kugeln, der Schieber geht herab und öffnet das Dampfrohr weiter; fängt die Maschine an, zu rasch zu gehen, so wird der Hahn durch den mit den Kugeln aufwärts gezogenen Schieber zum Teil zugedreht und der Dampfzufluß dadurch beschränkt. Ebenso kann bei hydraulischen Motoren der Zufluß der auf die Schaufeln des Wasserrades oder der Turbine fallenden Wassermenge geregelt werden.

Die Zentrifugaltrockenmaschine, Zentrifuge, Schleudertrommel oder auch kurz Schleuder genannt, benutzt die Zentrifugalkraft in noch direkterer Weise. Man denke sich einen nassen Lappen, den man trocknen will. Wird derselbe nicht einen großen Teil seiner Feuchtigkeit schon dadurch verlieren, daß man ihn heftig im Kreise herumschleudert, ihn schüttelt, wie man von dem beregneten Hute das Wasser durch Abschleudern entfernt? Nun, die Zentrifugalmaschine, welche in der bei weitem größten Zahl von Fällen als Trockenmaschine gebraucht wird, wirkt in ganz derselben Weise, wie dort das Schleudern mit dem Arme, nur etwas regelmäßiger und mit größerer Kraft und Geschwindigkeit, wodurch selbstverständlich auch ein viel vollständigerer Effekt erreicht wird. Sie besteht im wesentlichen

aus nichts weiter als aus einer hohlen Trommel AA (Fig. 96), welche mittels Zahnrädern und Getriebe um ihre Achse B in ungemein rasch rotierende Bewegung versetzt werden kann. In unsrer Zeichnung sind die übertragenden Maschinenteile durch die Riemenscheibe DD'D'', welche je eine mit einem der Zahnräder EE'E'' in Verbindung steht, angedeutet. Die Umsetzung kann in der mannigfachsten Art geschehen, da die eingreifenden Räder FF'F'' ebenso in ihrer Zähnezahl verschieden sind wie EE'E''. G ist ist eine lose gehende Rolle, auf welcher der Riemen läuft, wenn die Trommel stehen soll; H die Führung des Treibriemens. Die Wände der Trommel sind, je nachdem gewebte Stoffe, Wolle, gefärbte Garne, Leder oder dergleichen getrocknet werden sollen, entweder aus durchlöchertem Kupferblech oder, wie in der Zuckerfabrikation, wo es sich um die Reinigung des körnigen Rohzuckers von der beigemengten Melasse handelt, aus einem feinen siebartigen Gewebe hergestellt. Solche Vorrichtungen werden für die verschiedenartigen Zwecke der Praxis noch vielfach angewandt, z. B. zum Trennen der Butter von der Milch, der Stärkekörner von dem Auswaschwasser 2c.

Man hat nun nichts weiter zu thun, als die nassen Stoffe möglichst gleichmäßig an den Wänden der Trommel zu verteilen und diese hierauf in schnelle Umdrehung zu versetzen. Die Feuchtigkeit drängt nach außen und wird durch die Öffnungen in der Trommelwand fortgeschleudert, während sich der zurückbleibende Inhalt zu einer derben Masse zusammenpreßt. Die Arbeit dieser Maschinen ist so vollständig, daß man mit ihnen denselben Effekt, wozu man auf dem gewöhnlichen Wege des Trocknens viele Stunden gebraucht haben würde, in ebensoviel Minuten erreicht.

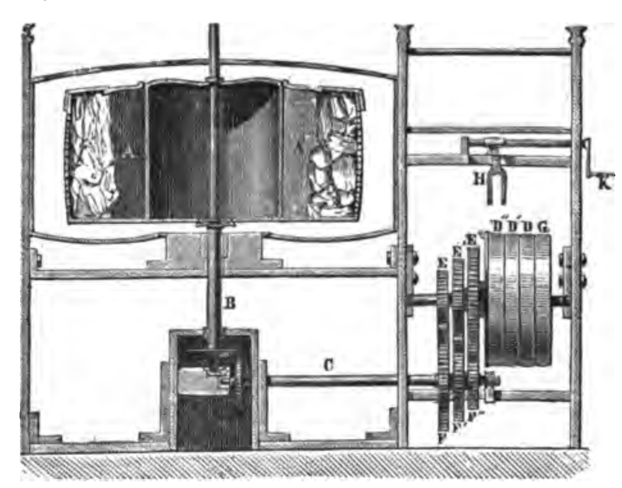


Fig. 96. Zentrifugaltrockenmaschine.

Ist die Schleudertrommel auch an sich kein so wichtiger Apparat, daß ihre Erfindung einen Abschnitt in der wissenschaftlichen oder technischen Entwickelung überhaupt bezeichnet hätte, so ist sie uns an dieser Stelle doch um deswillen von ganz besonderer Bedeutung gewesen, weil sie uns Veranlassung geboten hat, ein weites Gebiet natürlicher Erscheinungen und merkwürdiger Kraftäußerungen zu überschauen und uns aufs neue des wunderbaren Zusammenhangs bewußt zu werden, welcher alles Natürliche in ein einziges Ganzes harmonisch verknüpft. Die Anziehung der kleinsten Atome addiert sich in der großen Erdmasse zur gewaltigen Schwerkraft, deren Einwirkung auf die verschiedenen Stoffe messen zu können das wesentlichste Förderungsmittel der chemischen Wissenschaften geworden ist. Wie die Schwere den Fall der Körper in regelmäßiger Weise beschleunigt, so schreibt sie dem Pendel seine Bewegung vor, und die Erde verrät die Unregelmäßigkeit ihrer Gestalt dem Forscher durch die Anzahl von Schwingungen, welche dasselbe Pendel an den verschiedenen Punkten der Erdoberfläche macht. In dieser Abweichung von der Kugelform aber zeigt sich die eigentümliche Wirkung der Trägheit, denn die fälschlich als besondere Kraft betrachtete Zentrifugalkraft ist nichts andres als die Tangentialkraft, welche selbst auf dem Bestreben bewegter Körper, in der einmal eingeschlagenen Richtung zu verharren, beruht. Mit der eignen Rotation verknüpft sich die fortschreitende Bewegung der Weltkörper.

Der einmalige exzentrische Impuls, welcher vor Äonen den Flug der Gestirne bewirkte, und die fortwährend waltende Anziehung der kleinsten Teilchen — sie sind es, welche die Erde zur ausgebauchten Kugel formten, welche Wärme und Licht verschieden über die Länder der Erde verteilten und mit dem beglückenden Spiele von Tag und Nacht, von Sommer und Winter dem fröhlichen Leben seine Bedingungen gaben.



Anwendung des Barometers zu Höhenberechnungen.

Seht nur hin — ihr werdet's fassen,
Wenn Merkur sich hebt und neigt,
Wird im Anzieh'n im Entlassen,
Atmosphäre schwer und leicht.

Goethe.

Barometer und Manometer.

Beobachtung der Florentiner Brunnenmacher. Horror vacui. Torricellis Versuch. Der Luftdruck und seine Gesetze. Die Atmosphäre. Höhenmessungen am Puy de Dôme. Barometer. Gefäß- und Heberbarometer. Aneroidbarometer. Manometer. Mariottesches Gesetz. Barometrische Beobachtungen.

Es geht die Erzählung: die Brunnenmacher in Florenz hätten einst eine Pumpe zu bauen gehabt, mittels welcher durch ein Saugrohr das Wasser auf eine sehr bedeutende Höhe gehoben werden sollte. Die Apparate wurden auf die gewöhnliche und sorgfältige Weise hergestellt, aber als sie aufgestellt waren und ihren Dienst verrichten sollten, zeigte es sich, daß das Wasser in dem Rohre noch nicht einmal bis auf 10 m Höhe stieg. Höher hinauf war es nicht zu bewegen, und diese Eigentümlichkeit wiederholte sich in allen ähnlichen Fällen, so daß man zu der Annahme gezwungen wurde, man habe es hier nicht mit einer durch mangelhafte Einrichtung bewirkten Erscheinung, sondern mit einer gesetzmäßigen Thatsache zu thun.

Galilei, welchen der Ruhm damals schon als den größten Naturkundigen anerkannte, wurde um die Aufklärung des merkwürdigen Phänomens ersucht, und manche sagen, er habe die richtige Ursache erkannt; andre dagegen lassen ihn die Brunnenmacher mit der seinem logischen Geiste durchaus nicht entsprechenden Antwort abfertigen: „Der Horror vacui habe auch seine Grenzen.“ — Horror vacui? — Es war den alten Physikern eine große Anzahl ähnlicher Erscheinungen bekannt, wie das Aufsaugen von Flüssigkeiten mittels eines Strohhalmes, das Verhalten des Weines im Stechheber, wenn die obere Öffnung mit dem

Finger geschlossen wird, und andre, zu deren Erklärung man kurzweg ein allgemeines Bestreben, einen förmlichen Willen der ganzen Natur annahm. Die Natur habe einen Abscheu vor jedem leeren Raume, auf Lateinisch einen Horror vacui, infolgedessen sie fortwährend und überall darauf hinarbeite, jede Leere auszufüllen mit irgend einem Stoffe, der gerade zur Hand sei; Luft und Flüssigkeit dienten ihr am häufigsten dazu.

Dieser Popanz, der sich ganz im Sinne der alten Naturphilosophie auf nichts als auf einen menschlichen Einfall gründete, hatte zu lange geherrscht, als daß es jemand eingefallen wäre, an der Berechtigung seiner unumschränkten Gewalt zu zweifeln. Man darf, wenn man sich jetzt darüber wundert, jedoch nicht außer acht lassen, daß er nicht allein stand, sondern eingeflochten war in einen Kranz gleichwertiger Strohblumen, von denen eine die andre hielt. Man kannte kaum eine richtig angestellte Beobachtung.

Mögen nun die Brunnenmacher belehrt oder nur getröstet von Galilei weggegangen sein, das ist gewiß und das würde selbst aus jener Äußerung herauszulesen sein, für den großen Pisaner bestand jener Glaube an den Horror vacui nicht; ungewiß aber ist, ob er selbst bereits dafür die richtige Erkenntnis der Ursachen gewonnen hatte. Man sagt, und namentlich bemühen sich die Franzosen, die ihren Ruhm nur um so heller durch Worte zu vergolden suchen, je dürftiger die Unterlage ist, es zur Überzeugung zu machen, daß der Philosoph Descartes zuerst den wahren Grund jener Erscheinung bei den Pumpen nicht in einem Horror vacui, sondern im Druck der Luft gesehen habe, daß er somit derjenige gewesen sei, welchem die Physik eine ihrer wertvollsten Entdeckungen verdanke.

Das steht aber fest, daß Torricelli, der bedeutendste Schüler des Galilei, zuerst und mit unumstößlicher Gewißheit durch das Experiment den Beweis für die Wirkung des Luftdrucks lieferte, und daß ihn die dankbare Wissenschaft daher mit Recht — mögen auch Galilei oder Descartes den Gedanken schon früher gehabt haben — als den Entdecker eines neuen Gesetzes feiert. — Im Jahre 1643 oder 1644 machte Torricelli in Florenz den Versuch, welcher jetzt noch von den Physikern in derselben Weise angestellt wird. Er nahm eine starke Glasröhre von etwa 1 m Länge, die an einem Ende zugeschmolzen und so weit war, daß die untere Öffnung mit dem Daumen verschlossen werden konnte. Diese Röhre füllte er bis obenhin mit Quecksilber, drückte den Daumen auf die Öffnung, so daß beim Umkehren kein Quecksilber herauslaufen konnte, und brachte so das untere Ende in ein mit Quecksilber angefülltes Gefäß, unter den Spiegel der Flüssigkeit. Jetzt zog er den Finger von der Öffnung weg. Der Zutritt der Luft zu dem Innern war durch das Quecksilber in dem größeren Gefäße vollständig abgeschlossen. Stellte er nun die Röhre senkrecht (s. Fig. 98), so sah er das flüssige Metall im Innern sich senken, aber nicht bis völlig hinab, sondern nur bis zu einem gewissen Punkte, auf dem es stehen blieb, so oft er auch das Experiment wiederholte; dieser Punkt lag über dem Spiegel b immer gleichhoch bei a. Die Röhre mochte 1 oder 2 m lang sein, die Quecksilbersäule hatte immer eine vertikale Höhe von ungefähr 28 Zoll oder 76 cm. Der obere Raum der Röhre war vollständig leer, Quecksilber war nicht darin und die Luft hatte keinen Zutritt gehabt. Noch jetzt heißt dieser leere Raum nach seinem Entdecker die Torricellische Leere. Es war ein vacuum, wo war der Horror der Natur davor? Er hatte seine Grenze gefunden.

Torricelli schloß, da das Wasser in den Pumpenröhren bis zu höchstens 10 m, das Quecksilber in seiner Glasröhre aber nur bis zu 76 cm oder 28 Zoll durch Aussaugen der Luft gestiegen war, das spezifische Gewicht des Wassers sich aber zu dem des Quecksilbers gerade umgekehrt verhielt, wie jene Höhen $1 : 13{,}_7 = 2{,}_{33} : 32$, daß in beiden Fällen äußerer Druck die Ursache der Erscheinung wäre, und ferner, daß dieser Druck ganz genau gemessen werde durch den Druck einer Wassersäule von 10 m oder einer Quecksilbersäule von 76 cm Höhe. „Die Atmosphäre ist es, welche den Druck hervorbringt", sagte Torricelli; „die Luft ist ein schwerer Körper, sie hat Gewicht und lastet mit diesem Gewicht auf der Erde, wie das Wasser des Meeres schwer auf dem Grunde seines Beckens ruht."

Diese Versuche machten ungeheures Aufsehen in der Welt, und vorzüglich nahm der berühmte französische Mathematiker Pascal ein großes Interesse daran. Er ließ 1648 zu Rouen im großen Maßstabe eine lange Reihe von Experimenten mit Flüssigkeiten von ganz verschiedenem spezifischen Gewichte, wie Wein, Öl u. s. w., ausführen, und alle bestätigten die Torricellischen Folgerungen auf das glänzendste. Seine Erfahrungen erschienen

1667 im Druck, und in den beiden Abhandlungen „Über das Gleichgewicht von Flüssigkeiten“ und „Vom Drucke der Luft“ sind bereits alle Grundwahrheiten dieses Gegenstandes mit der unwiderstehlichen Beweiskraft des großen Mathematikers auseinander gelegt. Die Bemerkung, daß die Luft ein schwerer Körper sei, war übrigens nicht ganz neu, denn schon Aristoteles hatte erwähnt, daß Lederschläuche ein größeres Gewicht zeigten, wenn sie mit Luft aufgeblasen wären, als wenn sie leer gewogen würden. Indessen für die Physiker war in der ausgesprochenen Form jene übrigens nicht richtige Behauptung gänzlich fruchtlos geblieben.

Wollen wir die Gesamterfahrungen aus der Wiederholung und Erläuterung des Torricellischen Versuches der Hauptsache nach an uns vorübergehen lassen, so treten die folgenden Punkte als die bedeutendsten Wahrheiten heraus: Jedes Luftteilchen hat Gewicht, daher muß die ganze Atmosphäre schwer und ihr Gewicht ein fest bestimmtes sein. Sie drückt mit diesem Gewicht auf alle Punkte der Oberfläche der festen Erde. Die Atmosphäre ist ein Luftmeer, dessen Oberfläche hoch über uns liegt und wie des Ozeans Spiegel über den Erdmittelpunkt gekrümmt ist; wir leben auf seinem Grunde und sind in dieser Beziehung dem Krebse zu vergleichen, der auf dem Boden eines Sees umherkriecht; — nur ist der Spiegel dieses Luftmeeres ein ununterbrochener, die höchsten Berge des Himalaya ragen nicht darüber hinaus, sie sind immer nur tief gelegene Riffe, an denen sich die Strömung der Winde bricht. Der Druck des Wassers wirkt von allen Seiten auf die darin schwimmenden Körper, gerade so der Druck der Luft; aber wie die Fische, welche im Wasser schwimmen, von diesem Druck nichts merken, so merken auch wir nichts von der großen Last, welche von allen Seiten auf uns drückt.

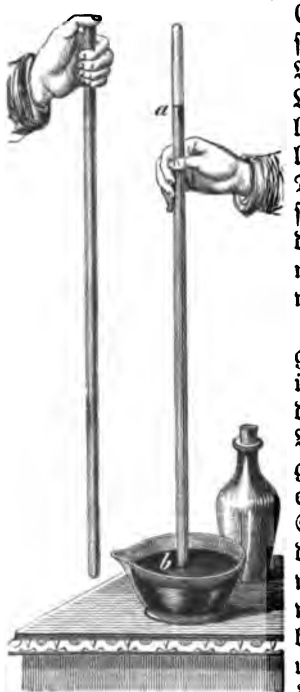


Fig. 98. Der Torricellische Versuch.

Wie der Boden eines mit Wasser gefüllten Gefäßes einen größeren Druck auszuhalten hat als ein Punkt in der Mitte, über welchem nur die Hälfte der Wassermasse lastet, ebenso drückt die Atmosphäre mit minder großer Last auf den Spitzen der Berge als in den tief gelegenen Thälern. Wenn wir eine große Masse Wolle übereinander häufen könnten, turmhoch, einen ganzen Berg, so würden wir bemerken, daß die unteren Schichten durch das eigne Gewicht der darüber liegenden Massen derb zusammengedrückt werden; je höher hinauf, um so loser wird der Zusammenhang; ganz oben liegt die loseste Wolle, welche durch gar keinen Druck in der Elastizität ihrer Fasern beschränkt wird. Genau so verhält sich die Luft. Sie ist elastisch und sehr zusammendrückbar, an der Oberfläche der Erde hat sie daher unter dem Drucke der darüber lastenden Massen die größte Dichtigkeit; dieselbe nimmt aber ab, je höher wir uns erheben, die Luft wird immer dünner. Wollten wir aus den niedrigsten Schichten der zusammengepreßten Wolle einen Teil herausnehmen und zu oberst legen, so würde die natürliche Elastizität ein Aufschwellen bewirken, bis der gewöhnliche Zustand wieder erreicht wäre. So verhält sich die Luft auch; sie dehnt sich, wenn sie in höhere Regionen kommt, aus, aber ihr Ausdehnen scheint keine Grenzen zu haben; selbst auf das äußerste verdünnte Luft wird immer noch, wenn man ihr einen größeren Raum darbietet, diesen vollständig ausfüllen können, weil bei ihr, wie bei allen Gasarten, die kleinsten Teilchen, die Moleküle, infolge zwischen ihnen herrschender abstoßender Kräfte, fortwährend ein Bestreben haben, sich voneinander zu entfernen. Die Schwerkraft wirkt diesem Bestreben entgegen, indem sie die Moleküle alle nach einem Punkte, dem Mittelpunkte der Erde, hinzuziehen sucht, und während jedes Teilchen mit einer, wenn auch für sich geringen Kraft diesem Zuge nachgibt, addiert sich die Wirkung aller übereinander liegenden Schichten zu einem bedeutenden Drucke.

Die überaus große Elastizität der Luft und aller andern Gasarten ist aber mit dem Zustande, in welchen sie sich an der Oberfläche unsrer Erde befinden, nicht erschöpft. Lastet hier die Höhe der ganzen Atmosphäre auf den untersten Schichten der Luft und sind diese dadurch bis zu einer gewissen Dichtigkeit zusammengepreßt, so kann man diese Dichtigkeit

durch geeignete Vorkehrungen noch vermehren, indem man Luft, welche man in ein auf allen Seiten dichtes Gefäß eingeschlossen hat, durch Hineinpressen eines Kolbens in den hohlen Raum zwingt, ein kleineres Volumen einzunehmen. Es wird dazu eine um so größere Kraft notwendig sein, je mehr die Verdichtung vorschreitet, und zwar stehen die Druckkräfte, die man anwenden muß, um ein gewisses Luftquantum auf kleinere Volumina zusammenzupressen, im umgekehrten Verhältnis zu einander, wie diese Volumina selbst. Ist beispielsweise, um ein gewisses Luftquantum auf die Hälfte seines ursprünglichen Volumens zusammenzupressen, ein Gewicht von 50 kg nötig, so bedarf es, um die Verdichtung bis auf $^1/_4$ des ursprünglichen Volumens zu führen, einer Belastung des Kolbens mit 100 kg, und eine weitere Zusammenpressung auf die Hälfte wieder, also eine Verdichtung auf den achten Teil des ursprünglichen Volumens, erfordert das Doppelte des zuletzt angewendeten Gewichtes, mithin 200 kg. Es verhalten sich aber $^1/_8 : {^1/_4} : {^1/_2} = 50:100:200$, und gilt das Gesetz selbstverständlich auch für alle möglichen zwischeninne liegenden Verhältnisse.

Die Versuche, welche zur Entdeckung dieses wichtigen Gesetzes geführt haben, sind schon 1660 von Robert Boyle angestellt worden, und die Engländer nennen daher dieses Gesetz selbst auch mit Recht das Boylesche Gesetz, obschon die eigentliche Entdeckung einem seiner Schüler, Richard Townley, zuzuschreiben sein dürfte. Mariotte, nach welchem das Gesetz bei uns gewöhnlich das Mariottesche Gesetz genannt wird, stellte später als Boyle, und wahrscheinlich nicht ohne Kenntnis der Erfolge seines Vorgängers, ähnliche Reihen von Versuchen an, die natürlich zu denselben Ergebnissen führten. Dies Verhalten der Gase besteht nicht nur äußeren Druckkräften gegenüber, welche größer als der atmosphärische Druck sind; auch für geringere Drucke — wenn auch nicht über alle Grenzen hinaus — bleibt das Gesetz in Gütligkeit.


Fig. 99. Evangelista Torricelli.

Die Atmosphäre. Kehren wir dahin zurück, die um die Erde gelagerte Luftmasse als ein Ganzes aufzufassen, so fällt uns zuerst die Frage nach der Höhe, bis zu welcher die Atmosphäre sich über unsern Häuptern aufbaut, in den Sinn. Hätte die Luft durchgängig eine gleiche Dichtigkeit, wie das nicht oder doch nur sehr wenig zusammendrückbare Wasser, so würde aus dem leicht zu ermittelnden Gewichte der Luft die Entfernung des obersten Luftspiegels rasch zu berechnen sein. Indessen da dies nicht der Fall ist, vielmehr die atmosphärische Luft eine Ausdehnbarkeit über alle Grenzen hinaus zu haben scheint, und da das Mariottesche Gesetz (die Volumina der Gase verhalten sich umgekehrt wie die Drucke, denen sie ausgesetzt sind) eine unbeschränkte Anwendung wohl nicht gestattet, so kann man über die äußersten Grenzen der Atmosphäre auch nur ungefähre Vermutungen aufstellen, welche je nach der Zulässigkeit ihrer Voraussetzungen Anspruch auf größere oder geringere Näherung an die Wahrheit haben. Eine scharfe Begrenzung erleidet der Luftkreis übrigens infolge der großen Expansibilität wahrscheinlich gar nicht, sondern es erfolgt da, wo sich dies elastische Bestreben mit der anziehenden Wirkung der Schwere das Gleichgewicht hält, ein allmählicher Übergang in die allgemeine Leere. Auf Grund sorgfältiger Berechnung glaubt man der Atmosphäre eine Höhe von ungefähr 10—14 Meilen geben zu dürfen, das ist ungefähr so viel, als wenn man sich um eine große Kegelkugel eine Schicht von der Dicke eines schwachen Federmesserrückens gelegt denkt.

Eine Quecksilbersäule von 28 Zoll (76 cm) Höhe und mit einem Querschnitt von 1 □Zoll hat ein Gewicht von nahezu 7,5 kg (15 Pfund); genau ebensoviel wiegt eine 32 Fuß (10 m) hohe Wassersäule von gleichem Querschnitt, und da die Luft, welche auf

diesen Querschnitt drückt, einem solchen Gewichte das Gleichgewicht hält, so muß demnach eine Luftsäule, welche von der Erdoberfläche bis an die äußerste Grenze der Atmosphäre reicht und die ebenfalls einen □Zoll Querschnitt hat, auch 7,$_5$ kg (15 Pfund) wiegen. Der Druck der Luft auf den qcm beträgt 1033 g (1,$_{033}$ kg), auf den qdcm also 103300 g oder 103,$_3$ kg, auf den qm 10330 kg. Auf dem Raume einer □Meile lasten solcher Art 13500 Mill. Ztr., und das Gewicht des ganzen Luftozeans beträgt zusammengenommen die Kleinigkeit von 124741755000000000 Ztr. Da, wie wir gesehen haben, es von wesentlichem Einfluß ist, in welcher Höhe der Druck der Atmosphäre gemessen wird, so hat man als Ausgangspunkt für Vergleichungen denjenigen Druck angenommen, welchen die Atmosphäre am Spiegel des Meeres oder an den Küsten ausübt. Auf diesen Stand reduziert man denn auch gewöhnlich die Beobachtungen.

Höhenmessungen. Bereits im Jahre 1643 soll, wie ein gleichzeitiger Schriftsteller erzählt, die eben erfundene Torricellische Röhre in Toscana zum Messen der Berghöhen angewandt worden sein. Indessen datiert für uns die rationelle Behandlung dieser Aufgabe erst einige Jahre später. Gegen Ende des Jahres 1647 veranlaßte Pascal, um seine eignen Untersuchungen zu prüfen und zu erweitern, einen Verwandten von sich, Périer, Beobachtungen des Luftdrucks mittels der Torricellischen Röhre auf dem nahe der Stadt Clermont in der Auvergne gelegenen Puy de Dôme, einem über 1400 m hohen Berge, anzustellen. Die Umständlichkeit, mit welcher damals noch dergleichen Experimente behaftet waren, ließ diesen ziemlich hohen Berg, welcher in der Nähe einer belebten Stadt lag, ganz besonders dazu geeignet erscheinen. Allein die Versuche konnten erst im September des Jahres 1648 unternommen werden. An einem schönen Tage wurde im Garten des Franziskanerklosters auf die Torricelli'sche Weise der Luftdruck durch die Höhe der Quecksilbersäule gemessen. Périer fand sie zu 26 Zoll 3½ Linien (Pariser Maß), und zwar, wie natürlich, in zwei verschiedenen Röhren genau gleichhoch. Eine von diesen Röhren blieb nun in dem Garten zurück und wurde fortwährend beobachtet, um jedes etwa eintretende Sinken oder Steigen der Quecksilbersäule der Zeit nach bestimmen zu können. Die andre wurde von Périer mit auf den Gipfel des Puy de Dôme genommen. Hier wurde das Experiment wiederholt, und siehe da, der obere Spiegel des Quecksilbers lag nicht mehr 26 Zoll 3½ Linien, sondern nur 23 Zoll 2 Linien über dem unteren Spiegel. „Dieses Experiment“, sagt Périer darüber, „setzte uns alle in Verwunderung und Erstaunen; wir wurden förmlich verblüfft von einem solchen Ausgang, den sofort zu wiederholen wir unsrer eignen Genugthuung wegen unternahmen; noch fünfmal repetierten wir das Experiment unter den abweichendsten Verhältnissen auf dem Gipfel des Berges, bald den Apparat bedeckt, bald frei, bei verschiedenem Wetter, frei vor dem Wind und dann wieder geschützt — immer mit demselben Resultat.“ Beim Herabsteigen vom Berge wurde zwischen dem Gipfel und dem Klostergarten noch eine Station gemacht; hier fand sich die Höhe der Quecksilbersäule in der Röhre zu 25 Zoll. Als die Expedition wieder an den Ausgangspunkt zurückkam und man das dort zurückgelassene Instrument beobachtete, fand man, daß es genau den alten Stand von 26 Zoll 3½ Linien Quecksilberhöhe behalten hatte, und daß ebenso die zweite, vom Puy de Dôme wieder mit herabgebrachte Röhre jetzt denselben Stand zeigte. Die veränderte Höhe der Säule mußte also eine Folge der Erhebung über den früheren Beobachtungsort und, wie es die Physiker bereits richtig erkannt hatten, eine Folge des verminderten Luftdrucks in jenen größeren Höhen sein. Indessen schien der eine Versuch noch nicht beweiskräftig genug.

Am folgenden Tage machte Périer neue Experimente; zuerst in einem im höchsten Stadtteil gelegenen Privathause, nahe der Notre-Dame-Kirche, der zweite Versuch wurde auf dem Turme jener Kirche angestellt. Selbst bei diesen verhältnismäßig geringen Erhebungen war die Verminderung des Luftdrucks an der geringeren Höhe der Quecksilbersäule merkbar, und alle die Beobachtungen in Clermont bestätigten die von Torricelli und Pascal gemachten Schlüsse auf das vollständigste. Man hatte gefunden, daß bei einer Erhebung von 7 Toisen die Quecksilbersäule um circa ½ Linie, bei 27 Toisen Höhe um 2½ Linie, bei 150 Toisen um 15½ Linie und bei 500 Toisen um 37½ Linie gefallen war (1 m = 0,$_{513}$ Toisen oder = 443,$_3$ Pariser Linien). — Wir haben mit einiger Ausführlichkeit diese Versuche behandelt, weil sie ein schönes Beispiel geben von dem klaren

Blick ihrer Urheber, welcher Resultate herbeiführte, die einer nur geahnten Wahrheit sogleich zum Triumph vollendeten Sieges verhalfen.

Die Schlüsse, welche Périer an seine wohlgeglückte Unternehmung knüpfte, sind nicht minder interessant als diese selbst. Er bemerkte gleich, daß die Abnahme der Quecksilberhöhe mit einer Regelmäßigkeit erfolge, die sie der mathematischen Berechnung zugänglich machte. „Ich zweifle nicht", schreibt er in seinem Berichte an Pascal, „daß ich so glücklich sein werde, Ihnen eines Tages eine Tabelle überreichen zu können, welche mit Genauigkeit die Höhendifferenzen der Quecksilbersäule für je 100 Toisen Erhebung angibt." — So richtig nun aber auch die Voraussetzung war, so blieb doch die Torricellische Röhre für den angeführten Zweck noch lange ein unvollkommenes Instrument, und als Bouguer 1743 aus Peru zurückkehrte und aus den in den Anden gemachten Barometerbeobachtungen die Höhenpunkte berechnete, kam er zu der Überzeugung, daß seine Formel eben nur für die sehr bedeutenden Höhen jener Gebirge anwendbar sei. Man hatte nämlich bisher die Wirkung der Wärme auf die Ausdehnung der Luftschichten nicht gehörig in Berechnung zu ziehen vermocht, ebenso auch den Einfluß, den die Zentrifugalkraft unter verschiedenen Breiten auf die Schwere der Luftsäule ausübt, und konnte deshalb namentlich wegen des ersten Umstandes genaue Resultate für niedrigere Erhebungen, wo die Temperatur bedeutenden Schwankungen ausgesetzt ist, nicht erlangen. Bouguer lehrte die Wärmewirkungen berechnen. Später stellte Ramond in den Pyrenäen ausführliche Beobachtungen zur Verschärfung der Barometerformeln an, auf welche Untersuchungen Laplace seine Berechnung gründete, infolge deren die Formel für Höhenbestimmung aus barometrischen Messungen diejenige Gestalt erhielt, in der sie heute noch in Anwendung ist. Damit war der physischen Geographie ein neues und wichtiges Werkzeug in die Hand gegeben. Hatte man früher die Erhebung der Erdoberfläche über den Meeresspiegel oder ihren gegenseitigen Höhenabstand nicht anders zu bestimmen vermocht als durch sehr komplizierte und deswegen nur schwierig, ja häufig gar nicht ausführbare trigonometrische Aufnahmen, abgesehen von einigen andern, ganz unvollkommenen Methoden, so vermochte jetzt jeder Reisende, jeder Bergbesteiger mit ziemlicher Leichtigkeit durch Anstellung weniger und verhältnismäßig rasch auszuführender Versuche die erreichte Höhe zu messen. Der Nutzen lag auf der Hand und mußte ganz besonders für die Entwicklung der physischen Geographie, der Geologie, der Pflanzengeographie, kurz für alle Disziplinen der Erdkunde von dem wichtigsten Einflusse werden. Wenn man die Arbeiten Humboldts in dieser Beziehung überblickt, so wird man erstaunen über die enorme Bereicherung, welche die Erdkunde durch diese Methode der Messung erfuhr. Man durchschaue jetzt die hypsometrischen Tafeln der Erde, welche die Höhe der einzelnen Punkte über dem Meeresspiegel angeben, und man wird eine Vollständigkeit der Angaben finden, infolge deren es dem Mechaniker möglich ist, von Gebirgszügen auf der andern Halbkugel, die er nie mit eignen Augen gesehen hat, die genauesten plastischen Darstellungen anzufertigen. Die Kartographie hat ganz neue Bahnen eingeschlagen, welche es erlauben, bis auf geringe Fehler die Höhe jedes Punktes sofort zu erkennen. Und die bei weitem größte Zahl dieser Höhenangaben ist mit Hilfe des Barometers gemacht worden.

Wir sagten, jeder Tourist konnte von nun an mit Leichtigkeit dergleichen Beobachtungen machen — dies ist jedoch immer nur bedingungsweise zu verstehen. Leicht und leicht ist in der Welt sehr zweierlei, und die Schwierigkeiten genauer naturwissenschaftlicher Beobachtungen liegen in einer Sphäre, die mit netten, glänzenden, allerliebsten Apparaten oft so umstellt ist, daß der Laie eine angenehme Unterhaltung da zu ersehen meint, wo dem Geist und dem Scharfsinn die mühsamsten Aufgaben gestellt sind.

Es ist auch mit dem eben beschriebenen Torricellischen Verfahren nicht anders. Will man sichere Beobachtungen damit machen — und nur solche können der Wissenschaft von Nutzen sein — so sind eine Menge von Vorsichtsmaßregeln notwendig, eine Menge von Rücksichten zu nehmen und Faktoren in Rechnung zu bringen, an deren Vorhandensein nur der mit allen Verhältnissen Vertraute denkt, deren Vernachlässigung aber den Wert des endlichen Resultates sehr beeinträchtigen würde.

Um nur einiges zu erwähnen. Die Luft ist auf dem Wege, welchen wir der kürzeren Darstellung wegen angenommen haben, nämlich daß man einfach die Glasröhre mit Quecksilber füllt und dann umkehrt, nicht vollständig aus dem Innern zu entfernen. Sie hat die

Eigentümlichkeit, an der Oberfläche der Körper und also auch an der Oberfläche der innern Glaswand mit großer Entschiedenheit zu haften. Wenn also Quecksilber in die Röhre gegossen wird, so bleibt zwischen dem Glase und dem Metall immer noch eine dünne Schicht Luft, die sich, wenn das Quecksilber sinkt, im Torricellischen leeren Raume ausbreitet und dadurch einen geringen Druck auf das Quecksilber ausübt; der Stand der Quecksilbersäule wird dadurch beeinflußt, herabgedrückt. Man muß daher, um von diesem schädlichen Einfluß befreit zu werden, die Glasröhre vor dem Versuch gut ausglühen; dadurch erst wird die Luft entfernt, und die Röhre dann gleich mit der untern Öffnung in das Quecksilber tauchen, so daß keine neuen Luftteilchen anhaften können.

Ferner müssen, wenn nun solchergestalt auch der Apparat auf das beste hergestellt ist, seine Angaben doch noch korrigiert werden, denn die verschiedene Temperatur der Luft wirkt auf das Quecksilbervolumen verändernd, und es ist einleuchtend, daß Quecksilber von 20 Grad Wärme leichter sein und höher in der Torricellischen Röhre stehen wird als Quecksilber von 0 Grad, bei übrigens ganz gleichem Drucke. Außerdem aber wirkt die Feuchtigkeit der Luft, die Dampfspannung, auf den Druck ein, und man muß auch ihren Einfluß abzüglich in Rechnung bringen. Alle die Einflüsse hat man, um sie gehörig berücksichtigen zu können, zu messen, und zwar genau zu messen; dazu sind allerdings von der Wissenschaft die zweckentsprechenden Methoden vorgezeichnet, und unter ihrer Anweisung hat die Mechanik die erforderlichen Apparate ausgeführt und immer mehr der Vollkommenheit genähert. Aber, wie gesagt, sie wollen gelernt, geübt sein, und sie zu handhaben ist nicht bloß Sache der Liebhaberei.

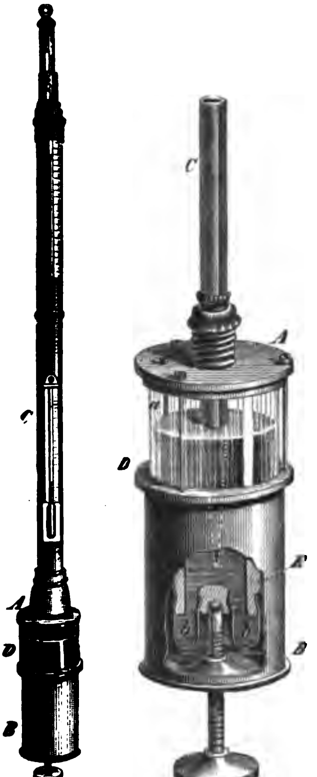


Fig. 100. Fortins Gefäßbarometer.

Barometer. Man hat sehr zeitig begonnen, der Anstellung des Torricellischen Versuches diejenige Bequemlichkeit zu verschaffen, welche ihn auch in der Hand von Laien gelingen läßt, und zu diesem Behufe ist der Apparat in zusammenhängender Form hergestellt worden, die er ein- für allemal behält. Ein solcher Apparat heißt ein Barometer (Schweremesser der Luft). Seine Bekanntschaft hat gewiß jeder unsrer Leser bereits gemacht, da das Barometer unter dem populären Namen Wetterglas fast zu einem Bestandteile häuslicher Einrichtungen geworden ist.

Eins der ersten Barometer dürfte dasjenige gewesen sein, welches der berühmte Bürgermeister von Magdeburg, Otto von Guericke, dessen physikalische Entdeckungen ihn seinem Zeitgenossen Torricelli würdig an die Seite stellen, ausgeführt haben soll. Dieses Instrument bestand aus einem langen, oben geschlossenen Glasrohr, in welchem Wasser die Stelle von Quecksilber vertrat. Auf dem oberen Spiegel schwamm eine menschliche Figur, die mit der Hand auf einer Skala den jedesmaligen Stand angab.

Im ganzen ist das Barometer ein so einfaches Instrument, daß seine Einrichtung in allen den verschiedenen Arten nur geringe Abweichungen zeigt. Die bei weitem größte Zahl gründet sich, wie gesagt, auf die Torricellische Röhre, und erst in der letzten Zeit ist man in den sogenannten Aneroidbarometern einem andern Grundgedanken gefolgt. Am nächsten dem Torricellischen Apparat verwandt und jedenfalls auch in seiner Form sehr alt ist das sogenannte Gefäßbarometer. Dasselbe ist im Grunde nichts weiter als die Vereinigung der Torricellischen Röhre a b aus Fig. 99 und des Quecksilbergefäßes auf einem Stativ, entweder in einer metallenen Kapsel oder auf einem Brett, welchem man durch Aufhängen eine genau vertikale Lage geben kann. Das untere Quecksilbergefäß hat gewöhnlich die Form einer weiten Flasche, in deren Hals die Röhre fest eingefügt ist. Eine kleine Öffnung an der Oberfläche gestattet ein Hinzugießen von Quecksilber. Das Stativ trägt eine Skala, an welcher man die Entfernung des oberen Quecksilberspiegels von dem unteren ablesen kann. Bei genaueren Instrumenten ist an dem Stativ gewöhnlich auch noch

ein Thermometer sowie ein Feuchtigkeitsmesser angebracht, um die Unterlagen für die Korrekturen der Beobachtung sich verschaffen zu können.

So zweckmäßig diese Einrichtung auch für solche Instrumente sich erweist, welche einen festen Stand innebehalten, so hat sie doch für andre, die man transportieren will, um auf Reisen Beobachtungen damit anzustellen, in dem unteren Gefäße einen großen Übelstand. Bei jeder Beobachtung kommt es auf die Entfernung des oberen Quecksilberspiegels an, auf die Differenz der beiden Niveaus in und außer der Röhre. Da nun aber, wenn sich die Höhe der Säule in der Röhre verringert, durch das Austreten von Quecksilber in das Gefäß der untere Spiegel in die Höhe gehoben wird, so kann man eine Skala ein- für allemal nicht anbringen, es sei denn, daß der Durchmesser des unteren Gefäßes so groß gemacht würde, daß durch das Sinken oder Steigen des Quecksilbers in der Röhre sein Quecksilberniveau nur in so geringem Grade beeinflußt wird, daß man die Änderung ganz vernachlässigen könnte. So große Gefäße, wie man dazu nötig hätte, sind aber für Instrumente, welche transportiert werden sollen, nicht anwendbar.

Nun hat zwar Fortin durch eine interessante Einrichtung, die er dem unteren Gefäße gegeben hat, dem Übelstande einigermaßen abgeholfen. Er stellt nämlich, wie es Fig. 100 zeigt, den Boden b aus dickem Hirschleder beweglich her. Durch die Drehung einer von unten dagegen treffenden Schraube kann er dann das Quecksilber in dem gläsernen Gefäße D D entweder in die Höhe pressen oder herabziehen, so daß er jedenfalls das untere Niveau immer auf dieselbe Höhe a wieder bringen kann. Die Röhre ragt so tief in das Gefäß, daß sie immer mit ihrer feinen Öffnung sich unter dem Spiegel des Quecksilbers befindet. Wenn das Barometer transportiert werden soll, wird die Schraube so weit angezogen, daß das Quecksilber die Röhre C sowohl als das Gefäß bis an die obere Wandung A erfüllt.

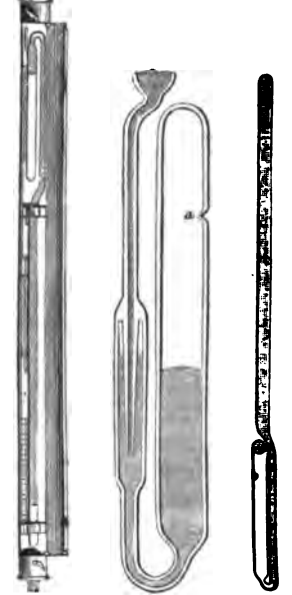


Fig. 101. Fig. 102. Fig. 103.
Gay-Lussacsches Heberbarometer.

Allein je komplizierter eine Einrichtung ist, um so mißlicher ist ihr Gebrauch. Man hat daher sehr bald für besser gefunden, von einem konstanten unteren Niveau abzusehen und lieber die Differenz der Quecksilberhöhen zu messen. Die Barometer dieser Art führen den Namen Heberbarometer wegen des heberförmig gekrümmten unteren Teils; sie sind mit zwei Skalen versehen, mit einer an dem oberen und einer an dem unteren Spiegel.

Die gewöhnlichen Heberbarometer sind an ihrem unteren Ende umgebogene Glasröhren von durchgängig gleicher Weite. Dadurch steigt der Spiegel des Quecksilbers in dem offenen Schenkel genau so viel, als er in dem geschlossenen fällt, und umgekehrt. Instrumente jedoch, welche zu feineren Messungen gebraucht werden sollen, werden mit gewissen Einrichtungen versehen, die je nach ihrem besondern Zwecke mannigfach voneinander abweichen. Ein Heberbarometer, wie es für Beobachtungen auf Reisen ausgeführt wird, zeigt Fig. 101; es ist in einer starken Kapsel eingeschlossen, welche die Röhre während des Transports vor dem Zerbrechen schützt. Das untere heberförmige Stück ist in Fig. 102 gesondert und in etwas vergrößertem Maßstabe abgebildet. Man bemerkt dabei, daß die Röhre an denjenigen Teilen, wohin die Schwankungen der Quecksilbersäule nicht mehr reichen, einen viel geringeren Durchmesser hat; diese Einrichtung ist von Gay-Lussac getroffen worden, um zu verhindern, daß beim Transport des Instrumentes Luft in den oberen Raum der langen Röhre eintrete. Die Menge des Quecksilbers im Instrument ist nämlich so bemessen, daß auch dann, wenn die Röhre auf den Kopf gestellt ist, der enge Teil davon erfüllt wird. Um indessen auch den ungünstigen Zufall, daß durch einen Stoß der feine Quecksilberfaden darin zerreißen und Luftbläschen aufnehmen könnte, unschädlich zu machen, hat Bunten an dem Gay-Lussacschen Barometer noch die Abänderung angebracht, daß er die enge Röhre in eine ganz feine Spitze ausgezogen hat und diese, wie Fortin beim Gefäßbarometer, in das Quecksilber im Uförmigen Teile eintauchen läßt. Sollte sich nun noch eine Luftblase fangen, so muß

dieselbe in dem unteren Teile bleiben, woraus sie leichter entfernt werden und wo sie übrigens auch keinen wesentlich nachteiligen Einfluß ausüben kann. Die Verengerung der Röhre ist auf den Gang des Instruments von keinem Einfluß.

Der kürzere Schenkel ist nach oben gleichfalls geschlossen, jedoch befindet sich an der Seite bei a eine feine Öffnung, ein Luftweg, so fein, daß er zwar den Zutritt der Luft in das Innere und damit die Einwirkungen des wechselnden Druckes auf das Quecksilber nicht hindert, daß er jedoch das konsistentere Quecksilber nicht hindurchläßt. Das Instrument läßt sich deshalb leicht umdrehen, so daß der ganze lange Schenkel vom Quecksilber erfüllt und in die für den Transport viel zweckmäßigere Lage (s. Fig. 102) gebracht werden kann.

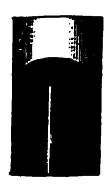


Fig. 104. Meniskus.

Bei der Herstellung der Barometer sowohl als bei der Anwendung derselben zur Beobachtung des Luftdruckes sind indessen einige wichtige Rücksichten zu nehmen, auf welche wir in der Kürze hier eingehen wollen. Zuerst darf nur das reinste Quecksilber zur Füllung angewendet werden. Unreines, Blei oder andre Metalle enthaltendes, ist einerseits nicht beweglich genug, um den geringsten Schwankungen nachzugeben — es haftet träge an den Wandungen der Röhre; anderenteils verunreinigt es dieselbe, indem sich im Laufe der Zeit Absätze bilden, welche die Beobachtung erschweren. Da selbst bei dem besten Quecksilber aber sich die Stelle des Glases, welche dem gewöhnlichen durchschnittlichen Stande der Säule entspricht, schließlich doch trübt und hier endlich das Metall eine gewisse Adhäsion an das Glas zeigt, die nicht wünschenswert ist, so befolgt man bei guten Instrumenten die Vorsicht, sie wie feine Wagen für die Zeit, wo keine Beobachtungen vorgenommen werden sollen, zu arretieren. Das heißt man bringt sie aus ihrer vertikalen Lage und läßt, indem man sie geneigt hängt, das Quecksilber bis ins obere Ende der Röhre treten.

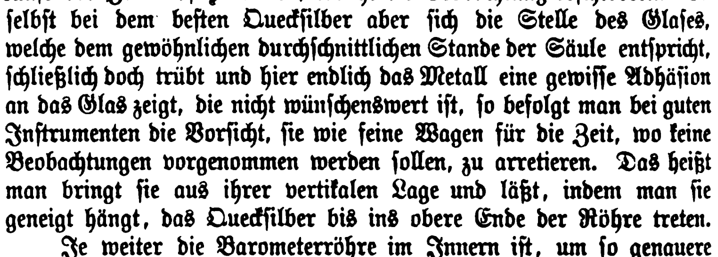
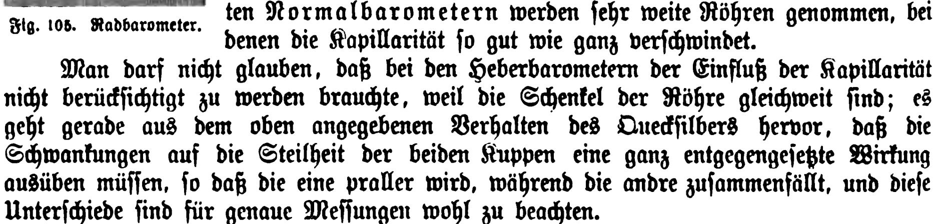




Fig. 105. Radbarometer.

Je weiter die Barometerröhre im Innern ist, um so genauere Beobachtungen lassen die Instrumente zu. Enge Röhren, sogenannte Haarröhrchen, üben auf darin stehende Flüssigkeiten, je nach der Substanz der Röhren und der Flüssigkeiten, eine verschiedene Einwirkung, die Kapillarität, Haarröhrchenwirkung. Dieselbe zeigt sich bei Stoffen, die sich gegenseitig benetzen, als eine Aufsaugung (Wasser in reinen Glas-, Metallröhrchen, Pflanzenzellen u. s. w.); bei solchen, die sich nicht benetzen, als eine Herabdrückung, Depression (Wasser in fettigen, Öl in mit Wasser benetzten Röhren u. s. w.), und die Niveauveränderung durch diese Haarröhrchenwirkung ist um so größer, je enger die Röhren sind.

Das Quecksilber haftet am Glase nicht; es erleidet daher in engen Röhren eine Depression, die seine Oberfläche als eine gekrümmte Kuppe (Meniskus) erscheinen läßt (s. Fig. 104). Wächst der Luftdruck, so wird dieselbe steiler, und sie flacht sich ab, wenn er fällt; es ist daher, wenn man die wirkliche Barometerhöhe beobachten will, notwendig, daß man die höchsten Spitzen dieser Wölbung an der Skala mißt und den Einfluß der engen Röhre in Rechnung bringt, wozu für bekannte Durchmesser mathematische, aus zahlreichen Beobachtungen geschöpfte Formeln das Mittel an die Hand geben. Zu den sogenannten Normalbarometern werden sehr weite Röhren genommen, bei denen die Kapillarität so gut wie ganz verschwindet.



Man darf nicht glauben, daß bei den Heberbarometern der Einfluß der Kapillarität nicht berücksichtigt zu werden brauchte, weil die Schenkel der Röhre gleichweit sind; es geht gerade aus dem oben angegebenen Verhalten des Quecksilbers hervor, daß die Schwankungen auf die Steilheit der beiden Kuppen eine ganz entgegengesetzte Wirkung ausüben müssen, so daß die eine praller wird, während die andre zusammenfällt, und diese Unterschiede sind für genaue Messungen wohl zu beachten.

Im gewöhnlichen Gebrauch der Barometer, wie sie ihn als sogenannte Wettergläser erleiden, hat man indes so ängstliche Rücksichten nicht zu nehmen. Es genügen hierbei

ungefähre Beobachtungen, und diese Bequemlichkeit hat zu einigen eigentümlichen Konstruktionen geführt, denen man bisweilen begegnet.

Eine der bekanntesten davon ist das Radbarometer (s. Fig. 105). Es ist dies ein Heberbarometer, dessen Stand durch die Quecksilberhöhe im kürzeren offenen Schenkel gemessen und mittels eines Zeigers auf einer in ziemlich großem Maßstabe ausgeführten kreisförmigen und in Grade eingeteilten Scheibe angegeben wird. Die Drehung auf der Skala wird in folgender Weise vermittelt. Auf der Welle des Zeigers sitzt eine leichte Schnurrolle, um welche ein Faden sich schlingt, der an jedem seiner beiden Enden ein Gewichtchen trägt. Das eine davon, das schwerere, hängt in den kurzen Barometerschenkel hinein und steht schwimmend auf dem Quecksilber. Wächst nun der Luftdruck, so wird diese kürzere Quecksilbersäule herabgedrückt, das Gewichtchen sinkt mit und das kleinere auf der andern Seite wird gehoben; das Röllchen und der Zeiger erhalten dadurch eine Drehung in der einen Richtung; tritt der umgekehrte Fall ein, so wird das größere Gewicht vom Quecksilber wieder emporgeschoben und das kleinere dadurch in den Stand gesetzt, die Drehung nach der andern Seite zu bewirken.

Andre, sogenannte Doppelbarometer messen den Druck der Luft durch den Stand der kürzeren Säule auf eine andre Weise, welche schon von Huyghens angegeben worden ist. Der kürzere Teil des Schenkels läuft nämlich nach obenhin in eine feine, gleichmäßige Röhre aus, und der Raum über dem Quecksilber wird mit einer gefärbten Flüssigkeit ausgefüllt, die bis zu einer gewissen Höhe in dieser engeren Röhre hinaufreicht. Vermehrt sich nun der Druck der Luft, steigt das Quecksilber in der längeren Röhre in die Höhe, so sinkt es in der kürzeren, und die gefärbte Flüssigkeit geht wegen des geringeren Durchmessers um ein beträchtliches Stück herab. Umgekehrt steigt sie aber auch viel bemerklicher, wenn mehr Quecksilber aus dem langen Schenkel in den kürzeren tritt. Barometer dieser Art müssen daher eine Skala mit entgegengesetzter Bezeichnung haben.

Die am häufigsten angewandte Einteilung der Skalen ist die nach Pariser Zollen und Linien, wogegen Barometer, die zu wissenschaftlichen Zwecken dienen sollen, jetzt gewöhnlich in Zentimeter und Millimeter geteilt sind; 76 cm werden als mittlerer Stand in der Höhe der Meeresfläche angenommen, das entspricht etwa 28 Zoll.

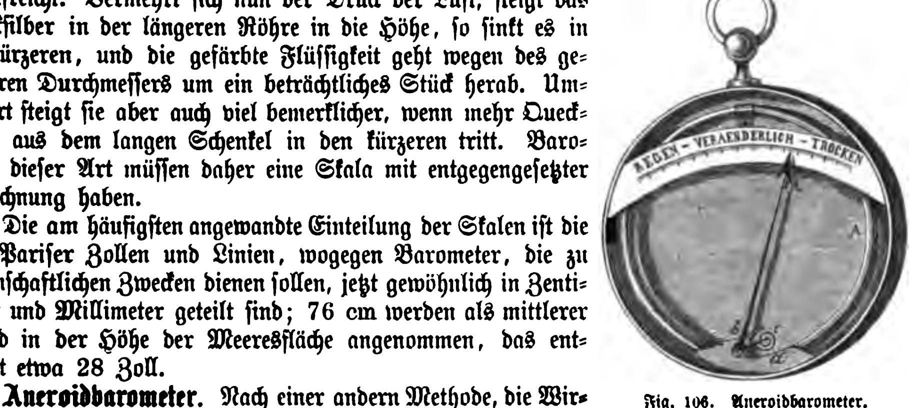


Fig. 106. Aneroidbarometer.

Aneroidbarometer. Nach einer andern Methode, die Wirkungen und Veränderungen des Luftdrucks sichtbar zu machen, sind Barometer konstruiert worden, welche gar kein Quecksilber enthalten. Die Erfindung derselben, in ihrer ersten Form, rührt von einem Franzosen Vidi her (1844). Derselbe ging von der Idee aus, daß der elastische Deckel einer hohlen Dose oder die elastischen Wände eines allseitig geschlossenen Gefäßes, welches ziemlich luftleer gemacht werden konnte, durch den größeren äußeren Luftdruck mehr oder weniger nach innen gepreßt werden, je nachdem die Differenz des äußeren Druckes gegen den inneren mehr oder weniger bedeutend ist. Indem er die luftleer oder wenigstens sehr luftverdünnt gemachte Dose allseitig hermetisch verschloß, konnte er durch ein feines Hebelwerk, dessen einer Arm auf dem elastischen Deckel auflag, die durch die Änderungen des Luftdrucks bewirkten Bewegungen auf einer Skala sichtbar machen, und wenn diese durch Vergleichung mit einem Normalquecksilberbarometer angefertigt worden war, so ließ sich die Größe des Luftdrucks direkt aus der Stellung des Zeigers in Zoll und Linien ablesen. Derartige Instrumente, welche in allen ihren Teilen aus Metall hergestellt sind, nehmen einen viel geringern Raum ein, haben eine bequemere Form, sind nicht so leicht zerbrechlich und also viel leichter transportabel als die Quecksilberbarometer; sie haben sich dieser großen Vorteile wegen rasch in Beliebtheit zu bringen gewußt, zumal da die physikalische Technik bald auch auf diesem Gebiete sich so weit vervollkommnete, daß die neuen Instrumente, welche zum Unterschied von dem alten Quecksilberbarometer Aneroidbarometer genannt wurden, es jenen in bezug auf Genauigkeit bald gleich thaten.

Im Jahre 1845 machte ein vor einigen Jahren verstorbener Ingenieur Schinz eine andre Erfindung, welche er von dem Mechaniker Roßkopf in Koblenz ausführen ließ, die aber, wie so vieles andre Deutsche, übersehen wurde, bis sich ihrer der Pariser Mechaniker Bourdon liebevoll annahm, der sich dieselbe im Jahre 1850 patentieren ließ. Seit dieser Zeit gelten die nach dem Schinzschen Prinzip ausgeführten Apparate als Bourdonsche Aneroidbarometer, obwohl der Pariser Mechaniker auf die Priorität dieser Erfindung keinen Anspruch machen kann. Ja, es ist Bourdon sogar im Jahre 1859 von dem französischen Handelsgericht zu einer Entschädigung an Vidi verurteilt worden, weil sich dessen Patent allgemein auf ein Gefäß mit elastischen Wänden bezieht und das gleich zu beschreibende Instrument, dessen Erfindung sich Bourdon hatte patentieren lassen, jener Kategorie unbedingt zugezählt werden müsse.

Die Idee, welche dem Schinzschen Apparate zu Grunde liegt, ist ungemein geistreich, und sie wird am besten aus der Beschreibung des in Fig. 106 abgebildeten Instruments hervortreten. Der Hauptbestandteil dieses Metallbarometers ist eine hohle metallene Röhre von elliptischem Querschnitt oder ein hohler Messingring A, der nicht ganz einen vollen Kreis ausfüllt und mit seiner Mitte in einer Dose einen festen Stützpunkt hat. Er ist aus dünnem, elastischem Messingblech hergestellt, seine Endflächen bei a und b sind luftdicht verlötet und der innere Raum ist soviel wie möglich luftleer gemacht. Wirkt nun auf diesen Ring ein vergrößerter Luftdruck, so muß seine äußere Oberfläche stärker davon ergriffen werden als seine innere, weil jene offenbar größer ist als diese; die Folge davon wird sein, daß der elastische Ring sich etwas verengt. Bei verringertem Luftdruck wird er sich infolge seiner Elastizität wieder um einen entsprechenden Teil erweitern. Das Verengern und Erweitern aber überträgt sich bei a und b mit Hilfe einer Hebelvorrichtung und einer elastischen Feder c auf einen Zeiger, welcher die zu Grunde liegenden Druckänderungen auf einen eingeteilten und nach einem Normalbarometer angefertigten Kreisbogen anzeigt. Die Aneroidbarometer sind in den letzten Jahren immer mehr in Gebrauch gekommen, wozu vorzüglich ihre mehr und mehr sich vervollkommnende Herstellung beitrug. Auf der Pariser Ausstellung von 1867 waren zum erstenmal dergleichen Instrumente von Beck in London zu sehen, die in Form und Größe nicht wesentlich von einer unsrer gewöhnlichen Taschenuhren unterschieden waren. In diesem kleinen Raume war der ganze Apparat, der die Änderungen des Luftdrucks empfinden, messen und durch Räder und Hebelarm auf einem Zifferblatte anzeigen sollte, zusammengedrängt. Und doch war, trotz dieser minutiösen Ausführung der einzelnen Teile, die Genauigkeit so groß, daß schon die geringe Erhebung des Aneroids von der Bodenfläche des Ausstellungsgebäudes bis auf die obersten Stufen einer Bockleiter, also ein Abstand von doppelter Mannshöhe etwa, sich durch eine wahrnehmbare Veränderung des Zeigers zu erkennen gab. Die überaus geringe Verschiedenheit, welche der Luftdruck in den beiden Höhen zeigt, machte sich noch durch den Apparat meßbar bemerklich. Seitdem sind dergleichen Apparate auch vielfach anderwärts in vortrefflicher Beschaffenheit und zu so billigen Preisen angefertigt worden, daß sie jetzt fast einen ständigen Ausrüstungsgegenstand der Alpenreisenden ausmachen.



Fig. 107. Metallmanometer (System Bourdon).

Manometer. Wenn wir einen geringelten Darm aufblasen, so streckt sich derselbe gerade. Dabei ist die gleiche Wirkung im Spiele, auf welche sich das Aneroidbarometer stützt, nur in entgegengesetztem Sinne. Der größere Druck wirkt hier von innen, und er verursacht

daher anstatt einer Krümmung eine Streckung. Bourdon hat die Schinzsche Erfindung auch auf Messung solcher Drucke angewandt, welche größer sind als der Druck der Atmosphäre, und da auf derartigen, oft sehr bedeutenden Spannungen ja die ganze Wirkung der Dampfmaschinen beruht, so hat ihre genaue Messung eine um so größere Wichtigkeit, als von ihrer Kenntnis nicht nur der regelmäßige Gang der Maschine, also Geld und Gut, sondern selbst das Leben der Arbeiter mit abhängt.

Die Instrumente, welche zur Messung größerer Dampfspannungen angewandt werden, heißen Manometer, und es ist dasjenige, welches jetzt gewöhnlich das Bourdonsche genannt wird, nach dem Gesagten fast ohne jede weitere Erläuterung der Fig. 107 verständlich. Eine ebenso gekrümmte Röhre, wie sie das Aneroidbarometer zeigte, ist in einer Kapsel angebracht. Dieselbe ist ebenfalls völlig luftdicht, aber nicht luftleer, sondern steht mit dem Innern des Dampfkessels durch eine Röhre in Verbindung, welche wir durch das am unteren Rande befindliche Schraubengewinde hindurchgehen sehen, so daß durch die Stellung eines Hahnes der Dampf in die dünne Röhre Zutritt erlangt oder abgeschlossen wird. Da nun hier die Spannungsveränderungen von innen heraus auf die Röhre wirken, so muß sich dieselbe auch umgekehrt bewegen, d. h. sie streckt sich, wenn die Dampfspannung größer wird, in eine weniger gekrümmte Form, und ringelt sich mehr, wenn der innere Druck abnimmt. Diesem Spiele folgt der Zeiger, welcher an einem kleinen Getriebe sitzt, das in ein gezahntes Bogenstück eingreift. Das letztere steht aber in Verbindung mit einer Zugstange, die ihrerseits direkt an dem beweglichen Ende der gekrümmten Röhre sitzt, so daß bei einer Streckung oder Krümmung der letzteren die Bewegung derselben sich durch die Hebelwirkung entsprechend vergrößert auf den Zeiger überträgt und diesen auf höhere Zahlen gehen läßt, wenn der Druck sich vermehrt, auf kleinere, wenn er sich vermindert.

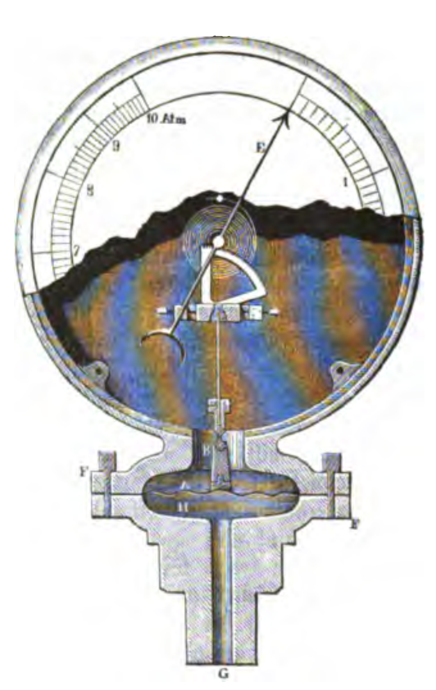


Fig. 108. Schäffers Metallmanometer.

Einige Jahre später als Schinz, aber noch früher, als Bourdon das Patent auf die neu erfundenen Barometer nahm, im Jahre 1849 nämlich, ließ sich der Ingenieur Schäffer ein Manometer patentieren, welches zu dem Vidischen Aneroidbarometer ungefähr in demselben Verhältnis steht, wie das sogenannte Bourdonsche Manometer zu dem Schinzschen Apparate. Schäffer ließ den veränderlichen Druck, den er messen wollte, die Dampfspannung, nicht auf die Innenwände einer hohlen Röhre wirken, sondern, wie Vidi, auf eine elastische Platte, mit welcher er die Dampfröhre absperrte, gewissermaßen auf die Innenseite des Deckels einer Dose. Das Arrangement, welches er dabei einschlug, wird bei der Betrachtung der Fig. 108 deutlich werden. In derselben ist H der Innenraum der Dose, welche durch die gewellte Stahlplatte A nach obenhin luftdicht abgeschlossen wird. Nach untenhin mündet sie in die Röhre G, die mit dem Dampfkessel in Verbindung steht, so daß das Blech A von unten immer die Spannung des Dampfes im Kessel, von oben dagegen bloß die atmosphärische Spannung der Luft auszuhalten hat, da der Raum über A in das Innere des Kastens führt, in welchem sich das den Zeiger E in Bewegung setzende Hebelwerk befindet und welcher selbst keinen luftdichten Abschluß hat. Die elastische Stahlplatte ist, um dem Rosten widerstehen zu können, oberflächlich mit einem dünnen Silberplättchen belegt; sie ist mittels Schrauben zwischen die Flanschen F eingeklemmt und hier auf das vollständigste gedichtet. Die Köpfe der Schrauben, welche bei F die Dichtung der Dampfkammer H bewirken, sind durchbohrt, und es schlingt sich durch diese Durchbohrung ein Draht, dessen

Maximum kennen, ebenso die des geringsten Druckes, das barometrische Minimum. Da naturgemäß diese Druckgegensätze in der Atmosphäre sich dadurch auszugleichen suchen, daß von dem barometrischen Maximum nach dem Minimum Luft abfließt, so hat man einen Anhalt, die Richtung der zu erwartenden Winde zu bestimmen, und indem man die Temperatur- feuchtigkeitsverhältnisse ꝛc. in der Maximal- und in der Zwischengegend in Rechnung zieht, kann man auf die zu erwartende Witterung Schlüsse machen. Wir werden an andrer Stelle ausführlicher hierauf zu sprechen kommen.

Hinge die Witterung allein vom Luftdruck ab, so würde das Barometer an Ort und Stelle schon ein guter Wetterprophet sein; so aber sind Wärme und Feuchtigkeit zwei Hauptfaktoren der Witterungsveränderung, und ihren Anteil kann das Instrument nicht unfehlbar deuten. Wir werden später sehen, auf welche Weise die Winde entstehen, wie aufsteigende und von oben herunterkommende Luftströmungen durch ihre Vermischung die atmosphärischen Niederschläge, und durch ihren Kampf Winde und Stürme hervorrufen. Nun muß zwar ein von oben nach unten sich bewegender Luftstrom den Druck der Atmosphäre auf die unter ihm liegenden Punkte vergrößern, und umgekehrt eine aufsteigende Luftmasse eine Erleichterung gewähren und die Quecksilbersäule sinken lassen; aber bald ist der obere Wind der wärmere, feuchtere, bald ist er der kältere, bald herrscht der eine allein, bald der andre, bald befinden wir uns in der Region ihrer wirbelnden Vermischung, und die verschiedensten Witterungserscheinungen können somit bei gleichen Barometerangaben bestehen. Es ist auch nicht sowohl bloß der Stand des Barometers als besonders die Tendenz, ob steigend oder fallend, in Berücksichtigung zu ziehen.

In der scheinbaren Unregelmäßigkeit im Wechsel des Barometerstandes haben fleißige Forschungen aber doch eine merkwürdige Regel erkennen lassen. Tägliche, ja stündliche Aufzeichnungen der Schwankungen sind gemacht worden, und sie zeigen in ihrer Zusammenstellung ein regelmäßiges Wiederkehren eines höchsten und eines tiefsten Standes, eines Maximums und eines Minimums des Luftdrucks. Wenn man die Höhen der Barometersäule graphisch stündlich nebeneinander stellt oder, wie es in der That geschieht, das Auf- und Niedergehen des Meniskus auf einem sich hinter dem Quecksilber fortbewegenden, photographisch präparierten Papiere durch das Licht verzeichnen läßt, so bekommt man die Bilder von Wellen, deren Verlauf die großen Bewegungen des Luftozeans verrät. Freilich genügen zu dieser Erkenntnis nicht die Beobachtungen einiger Tage oder einiger Wochen; erst aus großen Reihen läßt sich die Existenz solcher Perioden erweisen. Es werden daher jetzt an allen Knotenpunkten des Netzes von meteorologischen Stationen, welches auf Humboldts Anregung über die ganze Erde verbreitet worden ist, täglich die Barometerstände zu verschiedenen Zeiten, früh, gegen Mittag und abends, beobachtet und notiert und die Zusammenstellung dieser Angaben von Zeit zu Zeit veröffentlicht.

Daraus haben sich denn nun einmal eine tägliche Welle und dann jährliche Maxima und Minima ergeben. Dieselben sind nicht für alle Punkte der Erde genau dieselben, aber aus allen geht übereinstimmend hervor, daß das Barometer seinen höchsten Stand ungefähr abends gegen 10 Uhr, seinen tiefsten früh gegen 4 Uhr einnimmt. Von diesem tiefsten Stande erhebt es sich bis in die elfte Stunde, geht dann wieder herab bis Nachmittag 4 Uhr, wo es ein zweites Minimum erreicht, und steigt dann ziemlich rasch bis gegen Abend. Die tägliche Welle zeigt also zwei Berge und zwei Thäler. In den Tropen ist diese Regelmäßigkeit so groß, daß man, wie Humboldt sagt, die Zeit nach der Höhe der Quecksilbersäule bestimmen kann, ohne sich im Durchschnitt mehr als um ungefähr 15—17 Minuten zu irren. Bei uns verrücken sich die Wendepunkte jedoch mit dem Wechsel der Jahreszeiten etwas.

Die jährliche Welle hat ihren höchsten Punkt im Winter, ihren tiefsten im Sommer. Als die Ursachen beider läßt sich ohne Schwierigkeit die ungleiche Erwärmung der Luft durch die Sonne und die infolge davon bewirkte auf- und absteigende Luftströmung erkennen, und so reflektiert der einfache Torricellische Versuch uns nicht nur die Wirkung der Erdanziehung, er ist nicht bloß ein Maßstab, um unsre Entfernung vom Mittelpunkte unsres heimatlichen Gestirns zu zeigen, er macht uns auch das Ebben und Fluten des Luftmeeres sichtbar und wird unsern Gedanken eine Brücke, die Erde und Sonne verbindet.



Du sehnst dich, weit hinaus zu wandern,
Bereitest dich zu raschem Flug.
Dir selbst sei treu und treu den andern,
Dann ist die Enge weit genug.

Goethe.

Der Luftballon und die Luftschiffahrt.

Fliegversuche. Der Luftballon. Brüder Montgolfier. 1783 steigt ihr erster Ballon. Charles' Ballon auf dem Marsfelde. Konkurrenz der Montgolfièren und der Charlièren. Die erste Luftreise von Pilâtre de Rozier und Marquis d'Arlande, Charles und Robert Blanchards Reise über den Kanal. Der Fallschirm. Greens Reise von England bis ins Nassauische. Die interessantesten Unternehmungen späterer Luftschiffer. Arban. Coxwell. Gypson. Nadar und der Géant. Nutzen und Aussichten der Luftschiffahrt. Gay-Lussac und Biots Expedition. Steuerungsversuche.

Wenn ich ein Vöglein wär'! — in unzähligen Variationen klingt dieser Wunsch durch die sentimentale Dichtung aller modernen Völker. Die Völker des Altertums, welche in ihrer Naivität überhaupt seltener in Konflikt gerieten mit Wünschen und Erreichen, haben auch der bestimmten und unbestimmten Sehnsucht, welche die Brust unsrer Verliebten schwellt, weniger Quartier gegeben. Wie sie sich nicht das höchste Glück darin denken konnten, als maßlos schmachtendes Gänseblümchen von den Füßen der Geliebten zertreten zu werden, so fanden sie es auch überflüssig, mit Sperling und Sperber in Konkurrenz treten zu wollen. Das Beispiel des Ikaros, der sich Flügel mit Wachs an die Schultern geheftet hatte, um der Sonne zuzufliegen, indessen, als er

derselben schon ziemlich nahe gekommen, von seinem unzweckmäßigen Mechanismus im Stiche gelassen wurde — mochte sie von ähnlichen Versuchen abhalten. Die eigentlichen Versuche der Luftschiffahrt gehören der Neuzeit an, und vorzüglich haben sich die Franzosen mit aller Gewalt darauf geworfen, diese großartige Spielerei, welche es zu Anfang war, zu treiben und zu vervollkommnen.

Die Flugmaschine. Die ersten Anstrengungen, welche gemacht wurden, den Flug der Vögel nachzuahmen, suchten auch die Mittel derselben anzuwenden und Vorrichtungen zu erfinden, die ihrem Flugapparate vollkommen entsprechen sollten. Man baute, wie die Schiffsbauer zuzeiten wieder den Fischkörper als das beste Schiffsmodell sich gedacht haben, nach der Einrichtung des Vogelkörpers Maschinen, die man — wohl um die Ähnlichkeit möglichst vollständig zu machen — mit Flügeln aus wirklichen Federn versah. Das in den ersten Jahren des 18. Jahrhunderts von Laurent vorgeschlagene Luftschiff (Fig. 111) zeigt dies recht augenscheinlich. Andre, von dem Gedanken ausgehend, daß der Mensch mehr der Fledermaus als dem Adler seiner Organisation nach verwandt sei, setzten an Stelle der Flugfedern Häute von dünnen, festen Substanzen. Aber alle zusammen scheiterten an der betrübenden Wahrnehmung, daß die menschliche Muskelkraft nicht ausreiche, den eignen Körper in der Luft ohne festen Stützpunkt emporzuheben und dauernd in derselben zu halten, indem die Luft ein zu dünnes Mittel ist, um den aufwärts gerichteten Bewegungen des Apparates einen genügenden Widerstand entgegen zu setzen. Es würde eine ungeheure Geschwindigkeit der Bewegungen erforderlich sein, wenn der Körper nicht zwischen den (möglicherweise durch die einzelnen Schläge erreichten) Aufschwüngen wieder zurückfallen sollte. Und welche Kraft in den Armen oder Beinen müßte aufgewandt werden für die jedesmalige Hebung der sehr weiten, als lange Hebelarme wirkenden Flügel! Wäre das Problem lösbar, so dürfte der Weg, welchen der früher betrachtete Flieger (s. S. 43, Fig. 25) andeutet, der einzige sein, dessen Betreten die meiste Aussicht zur Erreichung des Zieles böte. Trotzdem hat bisher auch noch keine der darauf beruhenden neueren Konstruktionen von Flugrädern (Fleischhauer, Adham, Baumgarten-Wölfert, Jarolinek) und Flügelschrauben (Ressel Sohn, Forlanini 1878) irgend welchen praktisch verwertbaren Erfolg gehabt. Es ist hier nicht thunlich, alle die zahlreichen und verschiedenen Ausführungen und die noch zahlreicheren und verschiedeneren Entwürfe, die aus Mangel an Geld nicht zur Ausführung gelangt sind, zu betrachten. Zunächst sei erwähnt, daß der junge Besnier, ein Schlosser aus Sable in Frankreich, im Jahre 1786 die allgemeine Aufmerksamkeit mit einer Art Fliegmaschine erregte, welche er gleich einer Trage auf den Schultern befestigt hatte. Zwei Stangen bildeten die Hauptteile derselben. Sie bewegten sich in der Mitte auf den Achseln in Gelenken; die Hälfte jedes Stangenarmes diente einem Flügel von Taft als Grundlage. Die vorderen Flügel wurden von den Händen, die hinteren von den Füßen bewegt, und zwar so, daß sich gleichzeitig der rechte Vorder- und der linke Hinterflügel hob oder senkte. Doch soll sich der Erfinder nur von Höhen in schräger Richtung herabzulassen vermocht haben, nicht aber sich zu erheben. Nachdem er dies bei kleinen Höhen mehrere Male mit glücklichem Erfolg versucht hatte, wagte er sich auch an etwas



Fig. 111.
Laurents Luftschiff nach einer Zeichnung vom Jahre 1709.

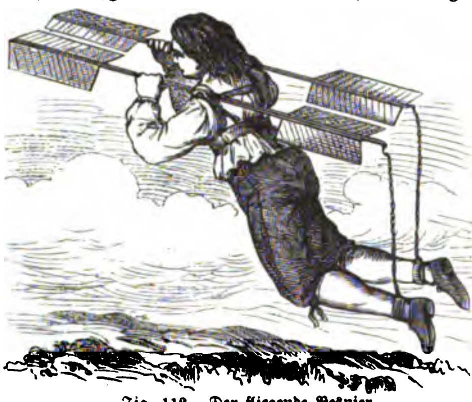


Fig. 112. Der fliegende Besnier.

größere; ja man sagt, er habe auf diese Weise sogar Flüsse überschritten. Wenigstens verlautet nicht, daß er den Hals gebrochen, und sohin war er glücklicher als der Dädalos des Altertums und verschiedene seiner Nachfolger. — Zu derselben Zeit ungefähr konstruierte Blanchard in Paris eine Fliegmaschine, welche er in den Jahren 1780—1783 im Hotel de la rue Turenne ausstellte: das fliegende Boot. Er versuchte, das Problem auf mehrfache Art zu lösen, immer aber mußte er, um das Gewicht der Flieger und der Maschine zu überwinden, ein Gegengewicht anwenden, welches den ganzen Apparat verhinderte, sich jemals von selbst und frei in die Luft zu erheben; er brachte es vielmehr nur dahin, sich im Kreise innerhalb eines Raumes zu bewegen, wo jenem Gegengewicht ein Stützpunkt geboten werden konnte. Das äußere Ansehen seiner Maschine wird ungefähr wiedergegeben in Fig. 113.

Noch in verhältnismäßig neuer Zeit, um 1808—1809, machte ein Fliegkünstler mit einer wie es scheint ganz ähnlich konstruierten Maschine viel Redens von sich, der Uhrmacher Degen in Wien, also ein Mann, dem man doch mechanische Kenntnisse zutrauen muß. Soviel man weiß, flog Degen mit seiner Maschine nur in einer Reitbahn in Wien herum, doch nicht ganz frei, sondern im Zusammenhange mit einer Leitung von Stangen, die im Raume hin und her geführt war. Als er seine Kunst in Paris auf öffentlichem Platze zeigen wollte, mißglückte es ihm gänzlich und der Arme mußte hohnbeladen abziehen. Übrigens wollte Degen in Paris nicht wie ein Vogel, sondern mit einem lenkbaren Ballon fliegen. Seine Maschine war gleichsam die Verbindung eines Ballons und eines Luftdrachen.

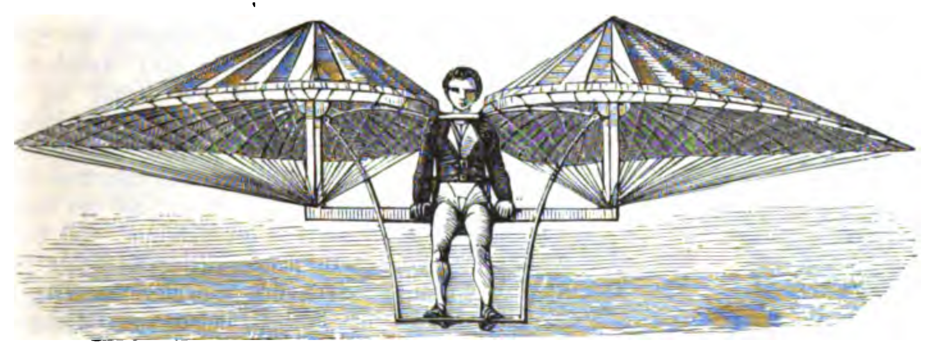


Fig. 113. Flugmaschine nach Blanchard.

Bei weitem schlimmer als Degen ging es einem niederländischen Mechaniker de Groof, der 1874 in London einen Apparat produzierte, mit welchem er die Möglichkeit eines freiwilligen Fluges darthun wollte. Er soll auch bei einem Versuche den Beweis geliefert haben, daß seine Flugmaschine wirklich funktioniere, und es scheint an maßgebender Stelle die Ansicht geherrscht zu haben, daß sie wenigstens eine Wirkung, wie sie der Fallschirm ausübt, zeigen würde. Sonst wäre es nicht zu begreifen, wie man sich dem Versuche des Erfinders, mit einem Luftballon aufzusteigen und in beträchtlicher Höhe von diesem aus seinen selbständigen Flug zu unternehmen, nicht energisch widersetzt hätte. De Groof unternahm das Wagnis wirklich; am 9. Juli 1874 stieg er mit dem Ballon „Czaar“ auf; er hatte sich aber kaum von demselben losgemacht, als er mit seinem Apparate aus einer Höhe von 400 m herabstürzte und auf dem Boden zerschmettert wurde.

Daß die Muskelkraft des Menschen bei weitem nicht ausreicht, ohne festen Stützpunkt seine Schwere auch nur für ganz kurze Zeit zu überwinden, ist jetzt freilich nicht mehr schwer zu beweisen. Da man aber zu derselben Überzeugung auch durch alle wirklich ausgeführten Maschinen kam, so griff man sehr zeitig zu ganz absonderlichen Hilfsmitteln und suchte Kräfte zu Hilfe zu nehmen, über deren Wesen und Wirkungsweise man nur sehr ungenügende Vorstellungen hatte. Elektrizität und Magnetismus sollten helfen, und je zusammengesetzter und unverständlicher die Vorrichtungen waren, desto mehr Hoffnung setzte man auf dieselben. Die fliegende Barke, welche der Jesuit Lana um 1680 vorschlug, sollte von vier großen Ballons aus höchst dünnem Kupferblech getragen werden, nachdem diese mittels der Luftpumpe entleert worden wären. Ist auch die Grundidee, einen Körper leichter als Luft herzustellen, nicht ganz sinnlos, so verrät doch die Art, wie sie Lana benutzte, daß er von der Wirkung

des Luftdrucks eine ganz falsche Meinung hatte, welche natürlich der erste Versuch bestrafen mußte. Immerhin beruht aber dieser Apparat mit auf einer Anwendung des Gedankens, welcher dem Luftballon zu Grunde liegt, dessen Betrachtung uns nun hier besonders beschäftigen soll.

Geschichte des Luftballons. Im Jahre 1709 soll zuerst ein portugiesischer Physiker, Don Guzman, in Gegenwart des Königs Johann V. mittels eines mit Papier überzogenen Holzgeflechtes, unter welchem Feuer brannte, in die Luft gestiegen sein. Die Maschine stieß aber an das Gesims des königlichen Palastes, nahm Schaden und fiel herab, glücklicherweise langsam genug, daß der Luftschiffer mit heiler Haut davonkam. Einem zweiten Versuche kam jedoch die Inquisition zuvor; sie steckte den „Zauberer" ein und nur das Machtwort des Königs konnte ihn vom Scheiterhaufen retten. Dies wäre denn der erste Luftballon, eine Montgolfière vor Montgolfier; damit uns aber auch bei dieser Erfindungsgeschichte die Chinesen nicht fehlen, so liegt ein Bericht des französischen Missionars Vassou vor, der 1694, also hundert Jahre früher geschrieben ist, als man in Europa von Luftballons etwas wußte; derselbe erzählt auf Grund offizieller Aktenstücke, daß schon 1306, bei der Thronbesteigung des Kaisers Fo-Kien, das Aufsteigen eines Ballons zu Peking einen Teil der Festlichkeiten gebildet habe.


Fig. 114. Die Brüder Montgolfier.

Dem sei nun wie ihm wolle; die wirkliche Ausführung der Luftballons gehört ganz unbestritten Frankreich an und knüpft sich an das Brüderpaar Joseph und Etienne Montgolfier, Söhne eines Papierfabrikanten in dem Städtchen Annonay. Ihre Familie stammt aus der Stadt Ambert in der Auvergne. Die Voreltern waren eifrige Anhänger der Reformation und als solche erlagen sie den grausamen Verfolgungen, welche in der Bartholomäusnacht sich gipfelten. Ihre Güter wurden konfisziert, ihre Papiermühle, ein Familienerbe, zerstört und sie selbst mußten flüchten. Die neuen Etablissements aber, welche sie später zu Annonay gründeten, blühten bald empor, und zu Anfang des 18. Jahrhunderts hatten die Montgolfierschen Fabrikate einen bedeutenden Ruf. In der Familie war ein lebhaftes Streben heimisch und die Wissenschaften wurden mit Liebe gepflegt.

Etienne Montgolfier (geboren 1740, gestorben 1810) ging denn auch seiner Ausbildung wegen nach Paris, wo er sich der Baukunst widmete und eine große mathematische Befähigung an den Tag legte. Zurückgerufen von seinem Vater, um an dem Betriebe der Fabrik teilzunehmen, erwarb er sich in dieser Thätigkeit bald durch ausgezeichnete Verbindungen und Verbesserungen einen bedeutenden Namen. Sein Bruder Joseph (geb. 1745, gest. 1799), zwar nicht minder begabt, war aber weniger dem strengen systematischen Gange zugeneigt, welcher Etienne bei seinen Arbeiten charakterisierte. Mit einem feinen Instinkt fühlte er das Richtige und war nie um rasche Auskunftsmittel da verlegen, wo dem Gelehrten die einzig benutzbare Zeit oft während seiner strengen Untersuchungen verstreicht. Was er that, that er auf eigne Weise, rasch, mit Enthusiasmus. Was ihn nicht anmutete, das lernte er nie. Er war eine ursprüngliche, feurige Natur, eine jener Erfinderseelen, für welche damals noch Zeit und Boden war. Die physikalischen und chemischen Wissenschaften, noch in der Kindheit ihrer neuen Entwickelung, fingen ja

eben erst an, sich im grünen Leben zu verzweigen, und deshalb darf man mancherlei Versuche und Unternehmungen, die uns jetzt thöricht erscheinen, nicht so obenhin belächeln. Vieles Verkehrte entsprach vollkommen dem höchsten Stande der damaligen Gelehrtenweisheit, von vielem hatte man gar keine oder höchst mangelhafte Kenntnis, und wie jede Zeit nur in sich ihren eignen Maßstab hat, so muß man deswegen auch die ersten Versuche der Gebrüder Montgolfier nicht mit unsern Anschauungen und Kenntnissen in Vergleich setzen wollen. Die übrigen Erfindungen, welche sich an den Namen Montgolfier knüpfen und unter denen wir nur des hydraulischen Widders als einer der geistreichsten Erwähnung thun wollen, zeigen uns zur Genüge, daß die beiden Brüder am allerwenigsten unter die Klasse halbgebildeter Phantasten zu zählen sind.

Die Idee, sich in die Luft zu erheben, mag wohl zuerst den lebhaften Geist Josephs zur Ausführung angeregt haben, so sehr entspricht sie seinem Naturell. Die täglich an den Gebirgen ihrer Heimat aufsteigenden Wolken — erzählt ein französischer Autor — brachten die Brüder zuerst auf die Idee, künstliche Wolken zu machen. Sie sperrten daher Wasserdampf in leichte Umhüllungen ein: der Apparat hob sich, um alsbald wieder zu fallen. Sie nahmen nun Rauch und die Sache ging nicht viel besser. Da lernten sie das neue Werk Priestleys über die verschiedenen Luftarten kennen, das eine Menge wichtiger Entdeckungen über bis dahin noch unbekannte Gase enthielt. Die Idee lag nahe, daß besonders mit dem so leichten Wasserstoffgas Erfolge zu erzielen sein müßten; doch ihre papiernen Ballons ließen es zu schnell entschlüpfen, zudem war seine Bereitung damals kostspielig und seine Eigenschaften waren noch zu wenig bekannt, weshalb sie die Versuche damit wieder fallen ließen. Sie kehrten zur Dampferzeugung zurück, diesmal aber von der sonderbaren Idee ausgehend, daß, wenn sie feuchtes Stroh und gehackte Wolle miteinander verbrennten, sich ein „elektrischer“ Dampf bilden werde, der vielleicht eine größere Triebkraft besitze. Sie fingen denselben in hohlen Taftballons, die sie mit der unteren Öffnung über das angezündete Feuer hielten, und jetzt stiegen ihre Apparate wirklich, jedenfalls aber nur deshalb, weil sie Hüllen von größerer Dichtigkeit genommen hatten.


Fig. 115. Professor Charles, Erfinder der Charlière.

Das Prinzip des Luftballons ist dasselbe, welches die Luftblase im Wasser emporsteigen läßt: die Verschiedenheit des spezifischen Gewichts. Wenn man aus Wasserstoffgas, welches 14mal leichter als die atmosphärische Luft ist, eine Blase bildet, indem man es in einen hohlen, nach oben geschlossenen Ballon füllt, so wird dieselbe von der Erde ganz natürlich aufsteigen. Denselben Effekt aber erreicht man auch, wenn man die Luft im Ballon selbst leichter macht, was durch Erhitzen derselben ausführbar ist. Wärme dehnt die Körper aus, und diese Thatsache, wenn auch nicht ihre genaue Erkenntnis, ermöglichte den Montgolfiers das Gelingen ihrer Versuche. Durch Gelehrte wurden sie darauf aufmerksam gemacht, daß ihre Ansicht vom elektrischen Rauch ein Irrtum sei und daß die Triebkraft lediglich in der durch Wärme verdünnten Luft liege. Saussure bewies ihnen dies, indem er in das Innere des Ballons vorsichtig einen rotglühenden Eisenstab brachte; der Ballon stieg dadurch auch, obgleich von einem ähnlichen „elektrischen“ Rauch keine Rede sein konnte, trotz alledem behielten sie eine Anhänglichkeit an ihr erstes, gelungenes Experiment, und

verbrannten auch bei späteren Versuchen immer noch etwas von jenem Gemisch, was natürlich ohne Qualm nicht abging. — Ihr erster öffentlicher Versuch fand in dem Wohnorte der Montgolfiers am 4. Juni 1783 statt. Der Ballon bestand aus Leinwand, mit Papier gefüttert, hatte 12 m Durchmesser, wog 219 kg und konnte eine Last von 200 kg tragen. Er erhob sich in zehn Minuten bis zu einer beträchtlichen Höhe, neigte sich aber bald wieder der Erde zu und fiel eine Drittelmeile vom Orte des Aufsteigens nieder.

Tausende von Zuschauern waren zu diesem noch nie gesehenen Schauspiele zusammengeströmt und mit unermeßlichem Jubel wurde die neue Erfindung begrüßt. Ein Bericht wurde der Pariser Akademie überschickt, von welcher eine Kommission, bestehend aus Larochier, Cadet, Condorset, Desmarets, Bossut, Brisson, Lerou und Villet, zur Prüfung niedergesetzt wurde. Die Wundermär verbreitete sich rasch über Frankreich und weiter, und natürlich wollten nun auch die Pariser das neue Schauspiel genießen. Ohne auf die Schritte der Akademie der Wissenschaften zu warten, brachte man auf Privatwegen über 10000 Frank zusammen, ein Vorstand wurde gewählt, der zwei geschickten Mechanikern, den Gebrüder Robert, die Ausführung des Ballons und dem berühmten Professor der Physik Charles die Leitung des Unternehmens übertrug.

Nun hatte man zwar von Annonay ein Protokoll mit allen Einzelheiten des Hergangs, aber keine Kenntnis über das von den Montgolfiers angewandte Gas, weil diese hieraus ein Geheimnis machten. Da entschloß sich denn Charles kurz und gut, das Wasserstoffgas anzuwenden. Ein Stoff, der so viel mal leichter ist als die atmosphärische Luft, mußte ja bedeutend mehr wirken als jenes unbekannte Gas, das angeblich halb so schwer gewesen als diese. Aber die Bereitung des Wasserstoffgases hatte damals nur im kleinen stattgefunden, und es sollte eine Masse von mehr als 40 cbm in einen Ballon gefaßt werden. Selbst die Gelehrten fürchteten seine große Entzündlichkeit. Indes Charles drang durch. Es mußte erst ein Erzeugungsapparat ersonnen werden, und man blieb nach vielem Deliberieren endlich bei folgender Einrichtung stehen. In ein Faß wurden Eisenfeilspäne und Wasser gethan, der obere Boden desselben hatte zwei Löcher; im ersten stak ein lederner Schlauch, der in den Ballon ging, im andern ein Kork. Durch letzteres Loch ließ man nach und nach Schwefelsäure in das Faß laufen. Aber bald zeigten sich die Mängel; die Erhitzung wurde so groß, daß eine Menge mit Säure geschwängerte Wasserdämpfe mit übergerissen wurden, welche den aus Taft gefertigten Ballon zu zerfressen drohten. Die Dämpfe verdichteten sich zu Wasser, das fortwährend abgelassen werden mußte, und außerdem mußte die äußere Oberfläche der Hitze halber unausgesetzt mit ein paar Spritzen bearbeitet werden. So ging eine große Menge Gas verloren und man brauchte zu der ganzen Arbeit vier volle Tage sowie 500 kg Eisen und 250 kg Schwefelsäure zur Füllung eines Ballons, der kaum 9 kg wog. Man lernte aber die Übelstände bald dadurch beseitigen, daß man das erzeugte Gas vorher durch ein Gefäß mit Wasser leitete, welches die sauren Dämpfe zurückhielt und das Gas förmlich wusch.

Zur Bereitung der enormen Mengen Wasserstoffgases, welche für die Füllung von einem Luftballon erforderlich sind und die natürlich nicht in Apparaten dargestellt werden können, wie sie in den Laboratorien gebräuchlich sind, muß man ganz besondere Arrangements treffen. Die Abbildung (Fig. 116) mag davon eine Vorstellung geben. Die Herstellung des Wasserstoffgases erfolgt also, wie schon erwähnt, durch Zersetzung des Wassers, welches aus Wasser- und Sauerstoff besteht, und zwar wird diese Zersetzung dadurch herbeigeführt, daß man in das mit Schwefelsäure versetzte Wasser metallisches Eisen hineinbringt. In Gegenwart der Säure äußert das Eisen ein sehr lebhaftes Bestreben, den Sauerstoff des Wassers an sich zu ziehen, damit Oxydul zu bilden, welches mit der Schwefelsäure zu schwefelsaurem Eisenoxydul zusammentritt. Der Wasserstoff des Wassers wird frei und entweicht als Gas, welches für sich aufgefangen werden kann. Unsre Abbildung zeigt nun in den Tonnen AA solche Entwickelungsgefäße, in denen Eisen und Wasser zusammengebracht sind, und in welche, nachdem alles so weit vorbereitet ist, daß die Entwickelung beginnen soll, durch die fast bis auf den Boden in die saure Flüssigkeit hineinreichenden Trichterröhren die Schwefelsäure zugegossen wird. Es ist Bedingung, daß die Fässer ganz luftdicht geschlossen sein müssen. Das Gas hat dann nur den einen Ausweg durch die aus dem Deckel in ein größeres Sammelrohr BB führende gebogene Röhre, und es gelangt aus

dieser letzteren mittels eines dichten Schlauches C in den Waschapparat D, wo es eine Wasserschicht durchstreicht und außerdem noch in innige Berührung mit einem Regen von feinen Wassertropfen gebracht wird, so daß die mit fortgerissenen Säureteilchen vollständig von dem Wasser aufgenommen werden. Den Stand des Wassers im Innern dieses Waschapparates erkennt man an der Glasröhre b, welche mit dem Innern kommuniziert und in welcher das Wasser ebenso hoch steht wie dort; a ist ein Abzugsheber, durch den das saure Wasser von selbst abfließt, e ein kleines Manometer, welches den Druck des Wassers im Innern angibt. Aus dem Waschapparat geht das Gas durch den Schlauch E in den Cylinder F, wo es mit auf Hürden ausgebreitetem Kalkhydrat in Berührung tritt und seinen Gehalt an Kohlensäure und Wasser abgibt, den es etwa noch mitgebracht hat. Hierauf passiert es noch einen Apparat, welcher ein Hygrometer H und ein Thermometer d enthält, um die Temperatur zu prüfen und die völlige Trockenheit zu konstatieren, und kann nun in den Ballon eingelassen werden, wie es Fig. 117 zeigt. Aber zurück zu unsrer Geschichte!

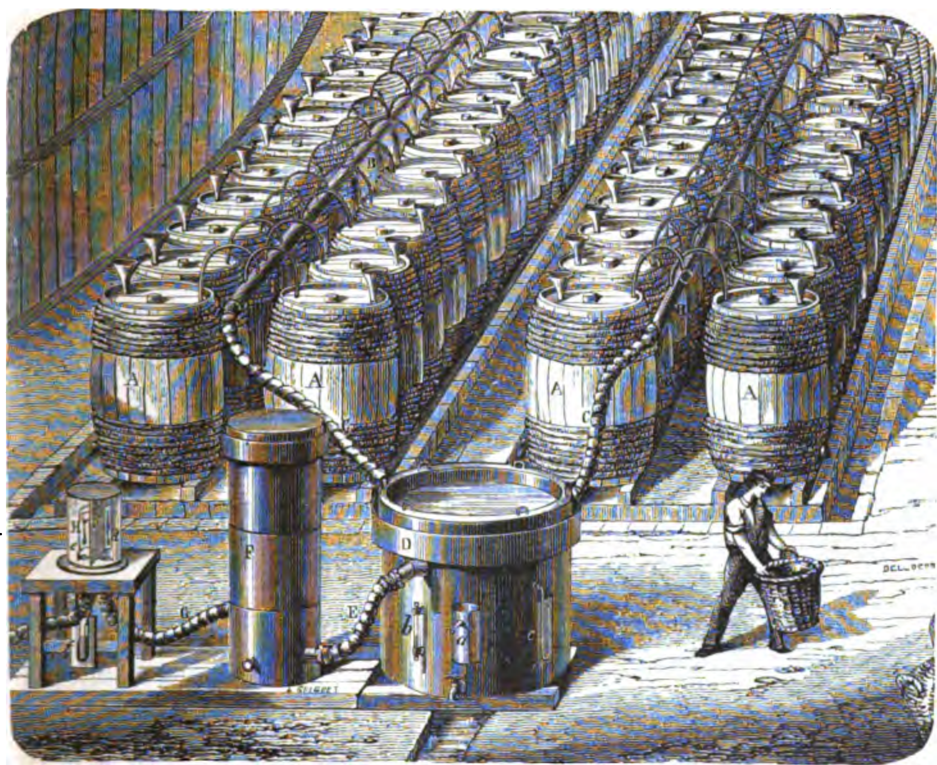
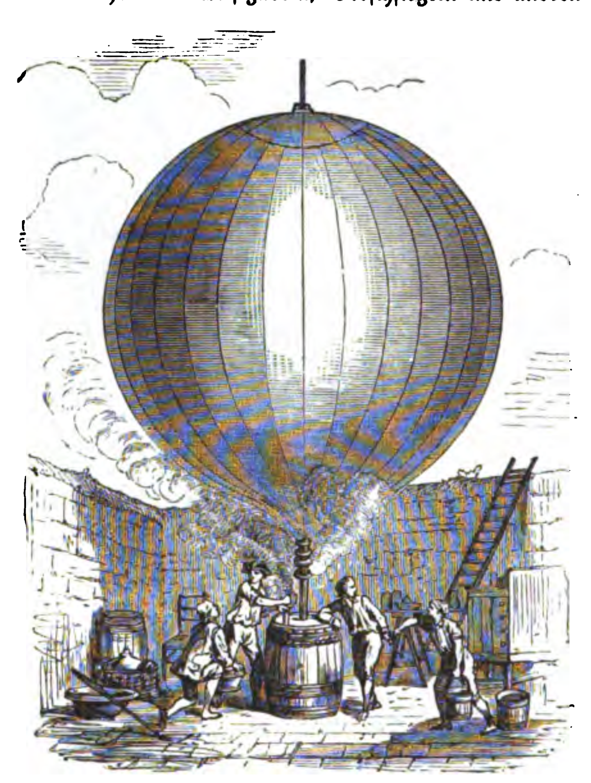


Fig. 116. Bereitung des Wasserstoffgases zur Füllung des Luftballons.

Am vierten Tage schwebte der zu zwei Dritteln gefüllte Ballon, an Seilen gehalten, frei in Roberts Werkstätte, und es galt nun, die ganze Maschine auf das Marsfeld zu bringen, wo die Auffsteigung stattfinden sollte. Der Transport erfolgte in der Stille der Nacht vom 27. auf den 28. August 1783; auf eine Tragbahre gebunden, von Fackelträgern und einer Abteilung Scharwache begleitet, bewegte sich die Maschine langsam durch die Straßen dahin. Das nächtliche Schauspiel hatte etwas so Absonderliches und Geheimnisvolles, daß man Leute aus dem Volke, die auf Arbeit gingen, vor dem Zuge auf die Kniee fallen sah, weil sie irgend eine geheimnisvolle Prozession vermuteten.

Auf dem Platze angekommen, verbrachte man den größten Teil des Tages mit der vollständigen Füllung des Ballons; endlich gegen 5 Uhr gab ein Kanonenschuß das Zeichen zur Abfahrt. Der Ballon schoß so rasch empor, daß er in wenigen Minuten mehrere Wolkenschichten durchdrang. Der Jubel von mehr als 200 000 Menschen begleitete ihn, bis er sich den bewundernden Blicken gänzlich entzog. Drei Viertelstunden später kam er

fünf Stunden von Paris zur Erde nieder, ohne seine ganze Bahn zurückgelegt zu haben, die er hätte durchlaufen können. Die Roberts hatten ihm nämlich, gegen den Rat Charles', so viel Gas gegeben als er nur fassen konnte, um ihn recht rund erscheinen zu lassen. Diese Gasmasse dehnte sich nun in den dünneren Luftschichten so aus, daß der Ballon am oberen Teile einen langen Riß bekam; das Gas erhielt dadurch einen weiten Ausgang und ein rasches Fallen erfolgte. Er fiel unter einen Haufen Bauern aus dem Dorfe Gonesse, die natürlich von dem Wesen einer solchen Erscheinung nicht die geringste Idee hatten und in nicht geringe Angst gerieten. Gonesse liegt ganz in der Nähe des durch die Kämpfe am 29. und 30. Oktober 1870 berühmt gewordenen Städtchens Le Bourget. Die meisten waren der Meinung, der Mond falle vom Himmel herab. Als aber das runde Ding sich machtlos vor ihnen herumwälzte, kamen sie von ihrem Schreck bald zurück und beeilten sich, dem Unhold mit Mistgabeln, Dreschflegeln und andern ländlichen Waffen vollends den Garaus zu machen. Der schöne Ballon, welcher so viel Kopfzerbrechen, Mühe und Geld gekostet, ward jämmerlich zerstochen und zerrissen, zuletzt noch an den Schweif eines Pferdes gebunden und über eine Stunde Weges querfeldein über Äcker, Wege und Gräben geschleift. Als Charles von Paris eintraf, fand er von dem kostbaren Gerät nur noch einige Lumpen. Die Regierung erließ infolge dieses Streiches, der ungeheures Aufsehen erregte, eine belehrende und beruhigende Bekanntmachung. Dies war die Lebens- und Sterbensgeschichte des ersten mit Wasserstoffgas gefüllten Luftballons. Man hat diese Art Ballons Charlièren genannt, zum Unterschied von den mit erhitzter Luft gefüllten, denen der Name Montgolfière verblieben ist, und damit den beiden in der Geschichte des Luftballons hervorragendsten Namen vielleicht ein noch bleibenderes Denkmal gesetzt, als es im vorigen Jahrhundert das in Frankreich damals beliebt gewordene geflügelte Wort Columbus orbem, Mongolferii coelum, d. h. Kolumbus erschloß den Erdkreis, die Gebrüder Montgolfier aber den Himmel, vermocht hat.


Fig. 117. Die Füllung des ersten Ballons mit Wasserstoffgas, in Gegenwart des Physikers Charles und der beiden Gebrüder Robert, 23.—26. Aug. 1783.

Etienne Montgolfier war Augenzeuge des gelungenen Charlesschen Versuchs gewesen. Er fand sich dadurch noch mehr angefeuert, nun auch seinerseits eine neue Probe abzulegen, während Charles und seine Genossen sich an die Ausführung eines größeren und vollkommneren Ballons machten. Montgolfiers Probe fand am 19. September zu Versailles vor dem Könige und einer zahllosen Zuschauermenge statt, nachdem erst wenige Tage vorher ein seltsam geformter länglicher Ballon (Fig. 119) durch Sturm und Regen zerstört worden war. Der Ballon wurde diesmal in fünf Tagen gefertigt. Er war aus festem Stoff, ganz rund, auswendig mit Malerei bedeckt, blau mit Gold, und trug in einem Weidenkäfig die ersten lebendigen Luftreisenden: ein Schaf, einen Hahn und eine Ente. Majestätisch hob er sich in die Höhe, sehr hoch, sank aber, da er durch einen Windstoß einen Riß bekommen, schon nach zehn Minuten eine Stunde abwärts in einem Gehölz nieder, und zwar so sanft, daß die Tiere unbeschädigt blieben. Der erste Mensch, welcher herbeikam und den Ballon

aus den Zweigen löste, war Pilâtre de Rozier. Er folgte von dieser Stunde an allen solchen Versuchen mit der glühenden Leidenschaft eines Enthusiasten, ohne eine Ahnung davon zu haben, welches Schicksal seinen Namen an die Geschichte dieser neuen Erfindung knüpfen werde. Nach dem gelungenen Versuche, lebende Tiere mit dem Luftballon aufsteigen zu lassen, machte sich Etienne Montgolfier mit erneutem Eifer an den Bau eines Ballons, welcher einige Menschen würde tragen können; Pilâtre de Rozier brannte vor Begierde, denselben zu besteigen.

Das langersehnte erste Aufsteigen von Menschen fand endlich am 21. Oktober 1783 vom Schlosse La Muette in der Nähe von Paris aus statt; der prachtvoll ausgestattete Ballon (Fig. 120) hatte eine Eiform und maß mehr als 20 m in der Höhe und 14 m im Durchmesser. Unter dem Ballon befand sich eine Galerie, in welcher die beiden Luftschiffer (nämlich Pilâtre de Rozier und Marquis d'Arlande) sich aufhielten; neben ihnen stand die Glutpfanne zu beständiger Unterhaltung des Feuers.

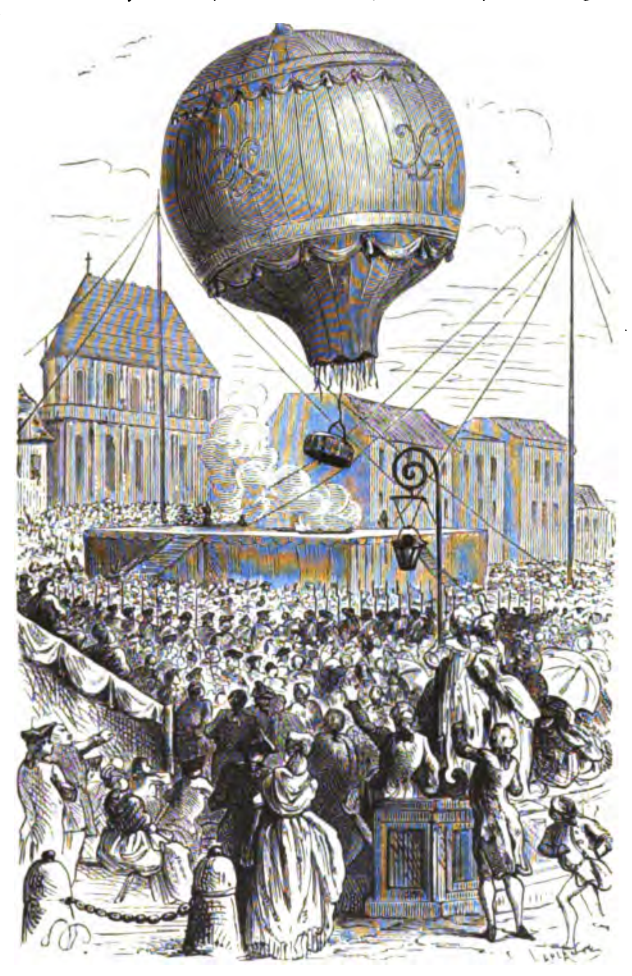


Fig. 118. Auffahrt von Charles' erstem Ballon auf dem Marsfeld zu Paris.

Merkwürdig sind die Unterhandlungen, welche man viele Tage vorher über die Erlaubnis zum Auffsteigen pflog. Man war schon vielemal höchstens bis zu 100 m über dem Boden aufgestiegen, ließ aber jedesmal den Ballon an Seilen halten und sodann herniederziehen; da beschloß Pilâtre de Rozier, sich nun höher und ohne daß der Ballon gehalten würde, in die Lüfte zu erheben. Selbst Montgolfier zögerte; er wollte erst neue Untersuchungen anstellen, und eine von der Akademie der Wissenschaften zur Prüfung der Möglichkeit ernannte Kommission sprach sich gar nicht aus. Dem Herzhaftesten bangte vor einer solchen Reise, und König Ludwig XVI., an welchen man sich wegen Erlaubnis dazu wandte, verweigerte dieselbe, versprach aber zwei zum Tode verurteilte Verbrecher zu begnadigen, wenn sie die Reise machen wollten. Dieser letzte Vorschlag erregte den lauten Unwillen des kühnen Luftschiffers. „Warum", sprach er, „sollen gemeine, aus der menschlichen Gesellschaft gestoßene Verbrecher den Ruhm haben, die ersten gewesen zu sein, welche sich in die Lüfte erhoben?" Er wandte sich an einflußreiche Personen am Hofe, der Marquis d'Arlande unterstützte sein Gesuch und erbot sich vor dem Könige, um diesen von der Ungefährlichkeit des Unternehmens zu überzeugen, selbst die Luftfahrt mitzumachen. Von allen Seiten bestürmt, gab Ludwig XVI. endlich die Erlaubnis dazu, und am 21. Oktober 1783 stiegen denn die beiden, Pilâtre de Rozier und der Marquis d'Arlande, auf.

Der Ballon hob sich, trotz eines heftigen Windes, mit großer Schnelligkeit. Als die kühnen Reisenden eine ziemliche Höhe erreicht hatten und über den Köpfen von mehreren

Hunderttausenden dahinschwebten, schwenkten sie die Hüte und nahmen von der staunenden und für sie fürchtenden Menge Abschied. Immer höher und höher stieg der Ballon, bald konnte man die beiden Figuren nicht mehr erkennen, und das Fahrzeug selbst wurde den Beobachtern kleiner und immer kleiner. Es folgte dem Laufe der Seine bis zur Schwaneninsel, dann überschritt es den Fluß und zog sich über Paris hin. Die Thürme der Kirche von Notre-Dame waren mit Schaulustigen ganz bedeckt. Als der Ballon in gerader Linie zwischen ihnen und der Sonne stand, bedeckte er dieselbe und hüllte die Zuschauer auf kurze Zeit in seinen Schatten — eine neue, eigentümliche Art Sonnenfinsternis. Der Ballon hatte jetzt eine sehr beträchtliche Höhe erreicht, die sich vermehrte oder verminderte, je nachdem die Reisenden das Feuer anschürten oder nicht. Schon hatte man das Invalidenhotel und die Militärschule passiert, da rief d'Arlande: „Es ist genug, nun zur Erde!“ Das Feuer ward nicht weiter angefacht, der Ballon senkte sich langsam und ließ sich nach 25 Minuten etwa $1^1/_2$ Meile von La Muette nieder. D'Arlande bestieg sofort ein Pferd und eilte zu der noch immer am Abfahrtsorte stehenden staunenden Menge zurück. In zehn Minuten hatte man den Ballon eingepackt, auf einen Wagen geladen und nach der Stadt gefahren, wohin ihn der kühne Pilâtre de Rozier begleitete. Unter den Zuschauern bemerkte man auch den berühmten Benjamin Franklin, welcher Zeuge einer neuen Eroberung des menschlichen Geistes über die Elemente sein wollte. Man fragte ihn, von welcher Tragweite er die neue Erfindung halte, aber vorsichtig vermied er eine bestimmte Erklärung. „C'est l'enfant, qui vient de naître!“ (es ist ein eben erst geborenes Kind!) sagte er. Die Folgezeit wird zeigen, daß die Erziehung des scheinbar vielversprechenden Kindes sehr wenig glückliche Resultate gebracht hat.

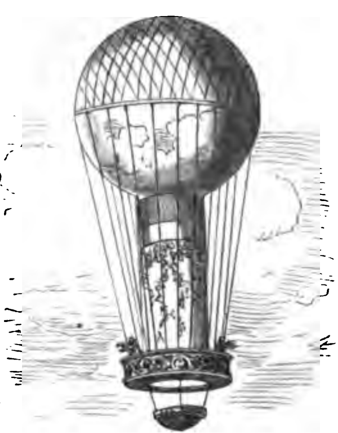


Fig. 119. Die am 11. Sept. 1783 zerstörte Montgolfière.

Kurze Zeit auf die erste sollte Paris das Schauspiel einer zweiten Luftreise haben, welche Charles und Robert in einem mit Wasserstoffgas gefüllten und auf allgemeine Subskription hergestellten Ballon zum Zwecke physikalischer Untersuchungen, wie sie ankündigten, ausführten. Dies war kein so waghalsiges Unternehmen mehr als das erste; der geistreiche Charles hatte für alles gesorgt, mit einem Mal alles erfunden, was wir noch heute als notwendige Bestandteile des Luftballon ansehen müssen: die Klappe, die Gondel mit dem Netz, den Ballast, den mit Gummi elasticum überzogenen Stoff, den Anker; er befreite das Wasserstoffgas mittels Waschens von der gefährlichen schwefelichen Säure und bediente sich auch schon des Barometers, um die erreichten Höhen zu bestimmen. Ein Monat hatte genügt, alle diese Vorrichtungen und Methoden zu erdenken und auszuführen; am 1. Dezember 1783 sollten sie ihre Probe bestehen. Die Hälfte von Paris drängte sich um die Tuilerien, von wo die Auffahrt stattfinden sollte und wo der gefüllte, aber noch an langen Seilen gehaltene Ballon sich schon weich in den Lüften schwenkte; da erhielt Charles plötzlich Ordre vom König, die Luftfahrt zu unterlassen; es sei zu gefährlich. Dieselbe Bestürzung wie bei Pilâtre de Rozier; dieselbe Aufregung im Publikum, welches von der Partei der Montgolfiers eifrig gehetzt und gestachelt wurde, Audienzen, Beschwörungen; da ertönt endlich auch hier der Signalschuß: die Luftschiffer nehmen in ihrer Gondel Platz, ein zweiter: die Seile werden gelöst und der Ballon schwingt sich mit majestätischer Ruhe empor.



Fig. 120. Pilâtre de Roziers und Marquis d'Arlandes erste Luftreise.

Die Reisenden erhoben sich 5—600 m und ließen sich neun Stunden von Paris in der Ebene bei Nesle nieder. Robert stieg zuerst aus, aber der dadurch um 70 kg

erleichterte Ballon erhob sich mit größter Schnelligkeit mit dem zurückgebliebenen Charles bis zu einer Höhe von wohl 3000 m. Die beim Herabsteigen der beiden Reisenden gesehene und eben untergehende Sonne ward von dieser Höhe von Charles noch einmal erblickt, bis sie ihm an diesem Tage zum zweitenmal unterging; er selbst aber gelangte nach 15 Minuten wieder glücklich zur Erde.

Am 5. Januar 1784 stiegen Pilâtre de Rozier und der ältere Montgolfier in einem Riesenballon von 40 m Höhe und 32 m Durchmesser zu Lyon mit noch sechs Personen auf. Der Ballon erhob sich gegen 1600 m, sank aber nach 15 Minuten infolge eines durch die zu große Belastung verursachten Risses zu Boden. Ursprünglich waren nur sechs Teilnehmer zu der Fahrt bestimmt; außer den schon Genannten noch der Prinz Ligne, die Grafen Laurencin, Dampierre und Laport d'Anglefort; in dem Augenblicke aber, als sich der Ballon erhob, schwang sich ein junger Mann aus Lyon, welcher bei den Vorbereitungen einige Hilfe geleistet hatte, hinein und stand plötzlich mitten in der Gondel.

Pilâtre de Rozier hatte schon vorher gegen die große Zahl der Mitreisenden protestiert, seine Voraussetzungen bestätigen sich jetzt um so mehr, denn bei dem sehr bald darauf eintretenden Heruntergehen schlug die Gondel sehr unsanft auf die Erde, und Montgolfier gerade, der ihnen am wenigsten geglaubt, hatte die Gewalt des Aufprallens auf die Erde am unangenehmsten zu empfinden. Trotz dieses halben Mißlingens schwamm Lyon in einem Taumel von Enthusiasmus, und die Luftfahrer berauschten sich förmlich in den Huldigungen, welche ihnen von allen Seiten gebracht wurden.


Fig. 121. Pilâtre de Rozier.

Auch in andern Ländern machte man die Luftfahrten nach, zuerst in Italien, wo der Chevalier Andréani aufstieg.

Im März desselben Jahres (1784) unternahm **Blanchard**, der sich schon lange vor den Montgolfiers mit der Konstruktion von Luftschiffen und Flugmaschinen beschäftigt hatte, seine erste Luftreise. Sein Ballon war mit Rudern und Steuerungen (Fig. 122) versehen, von deren nützlichem Einfluß Blanchard nach seinem Herabkommen — er behauptete, 600 m höher als alle Luftfahrer vor ihm gestiegen zu sein — fest überzeugt schien. Auch eine Frau **Thible**, die erste Frau, welche das gefahrvolle Unternehmen wagte, stieg zu Ehren des Königs von Schweden am 4. Juni 1784 in Lyon auf ꝛc.

Die meisten dieser Fahrten gewähren kein besonderes Interesse. Dagegen ist zu verzeichnen die erste wirkliche **Luftreise**, d. h. eine Reise in bestimmter, beabsichtigter Richtung und über eine beträchtliche Entfernung.

Das Meer trennt England von Frankreich bekanntlich in einer Breite von sechs Meilen. Calais in Frankreich und Dover in England sind die beiden nächsten Punkte. Von letztgenanntem Orte aus versuchte Blanchard in Begleitung des Amerikaners Jefferys am 7. Januar 1785 nach Frankreich zu reisen, und sein Unternehmen gelang ihm vollkommen. Nach einer Zeit von 2 Stunden 32 Minuten kamen die Reisenden glücklich in der Nähe von Calais, am Walde von Guines, auf dem Festlande an. So glücklich die Reise auch abgelaufen war, so war sie doch nicht ohne Gefahren, indem der Ballon gegen das Ende derselben ziemlich tief ging. Die Luftschiffer waren genötigt, zu seiner Erleichterung den letzten Ballast, ihre Bücher, Lebensmittel, die Kleider, selbst den Anker ins Meer zu werfen; ja sie waren bereits entschlossen, sich im Strickwerke anzuklammern und auch die Gondel noch abzuschneiden, wenn die Steigkraft des Ballons nicht hinreichen sollte, sie vollends hinüber zu tragen. Doch diese Notwendigkeit trat nicht ein; sie langten wohlbehalten auf französischem Boden an, nachdem die Bewohner von Calais sie bereits, nicht ohne große Besorgnis, seit langer

Zeit, erst mit Ferngläsern, später mit bloßen Augen, über dem Kanal schwebend gesehen hatten. Man empfing sie mit der größten Teilnahme; reiche Geschenke an Geld belohnten den mutigen, in Frankreich bisher noch nicht gehörig beachteten Blanchard, und eine Ehrensäule in der Nähe von Calais, da, wo er wieder den festen Boden betreten hatte, bewahrt das Gedächtnis an die kühne That.

Leider wurde der günstige Erfolg dieser gewagten Unternehmungen die Ursache zu einem der traurigsten Ereignisse, welches die Geschichte der Luftschiffahrt kennt. Als Pilâtre de Rozier die Kunde von Blanchards Reise erhielt, beschloß er, angestachelt vom Ehrgeiz, von Frankreich nach England zu fahren. Der nach seinen eignen Ideen gebaute Ballon bestand aus einer höchst gefährlichen Verbindung der Montgolfière und Charlière, indem unter einem mit Wasserstoff gefüllten großen Ballon ein cylinderförmiger Teil sich befand, in welchem Luft durch Feuer verdünnt werden sollte. Vergebens warnte man ihn von allen Seiten; auch Charles sagte ihm: „Freund, Sie hängen ein Pulverfaß über Feuer"; aber sein Verhängnis riß ihn hin. Bei sehr ungünstigen Witterungsverhältnissen stieg die Doppelmaschine am 13. Juni 1785 in Calais auf. Bald schwebte sie über dem Meere, aber ein Windstoß warf sie nach der Küste zurück, und der Luftschiffer, der bei so stürmischem Wetter die Reise nicht fortsetzen zu wollen schien, bereitete sich schon zum Herabgehen, indem er die unvollkommen eingerichtete Klappe zog.

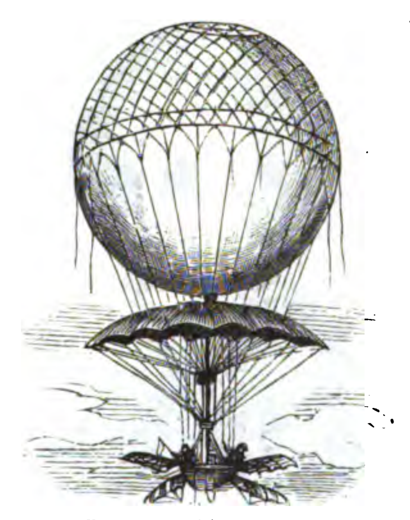


Fig. 122. Blanchards Luftballon mit Fallvorrichtung.



Fig. 123. Robertsons Fallschirm.

Die Luft strömte aus, die Klappe schloß sich nicht wieder und mit furchtbarer Schnelligkeit stürzte der Ballon zur Erde nieder. Eine gräßliche Ironie des Zufalls ließ den Sturz wenige Schritte von der Stelle geschehen, wo die dem glücklichern Blanchard vor kurzer Zeit erst errichtete Triumphsäule stand. Pilâtre de Rozier ward im Auffallen getödtet, sein unglücklicher Begleiter, ein junger Physiker von Boulogne, Namens Romain, lebte noch, endete aber zehn Minuten später gleichfalls. Dies waren die ersten Opfer der Luftschiffahrt.

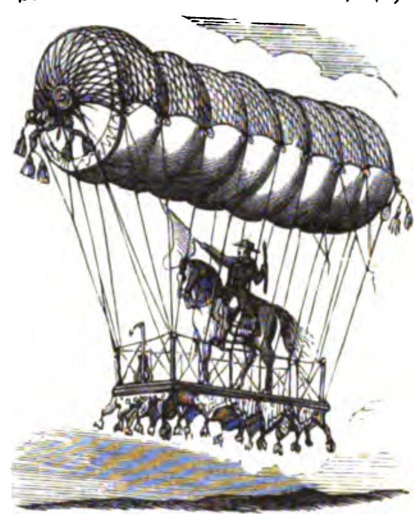
Der Fallschirm. Die ungünstigsten Ausgänge andrer Luftfahrten führten zu mancherlei Vorschlägen, durch deren Ausführung man im schlimmsten Falle eines unvorhergesehenen Niedergehens die Gewalt des Sturzes unschädlich zu machen hoffte. Sehr bald nach der Erfindung des Luftballons kam man daher auf die Anwendung einer Vorrichtung, welche den letztern Zweck erreicht scheinen ließ. Dies war der Fallschirm, ein Apparat, der in seiner Form mit einem riesigen Regenschirm die größte Ähnlichkeit hat. Es ist nämlich ein solcher Fallschirm weiter nichts, als ein zusammengefalteter, aus starkem Taft hergestellter Schirm, dessen oberer Teil beim Herabgehen sich ausbreitet und die Luft fängt. Er hat einen ziemlich bedeutenden Durchmesser, 6—10 m, und trägt eine herabhängende Gondel, welche den gefährdeten Luftschiffer aufnimmt und, indem sie den Schwerpunkt tief nach unten hält, einem Umschlagen vorbeugt.

Die Idee des Fallschirms ist übrigens eine sehr alte. Ausgeführt wurde sie wohl zuerst von dem Professor Lenormand, der sich am 26. November 1783 aus der ersten Etage seines Hauses in Montpellier herabließ, in den Händen zwei große Regenschirme haltend. Der Stoß war sehr gering, er wiederholte die Versuche und kam zu dem Resultate, daß ein Schirm von 4—5 m Durchmesser einen Menschen ganz sanft herabtragen müsse.

Der Luftschiffer Blanchard fing damit an, lebende Tiere aus der Höhe im Fallschirme herabzulassen; mit seiner eignen Person mochte er das Experiment nicht wagen. Dies that später sein Rival Garnerin, der, in den Revolutionskriegen von den Österreichern gefangen und in Ofen festgehalten, schon hier einen Schirm heimlich anfertigte, um damit aus der Festung zu flüchten, aber abgefaßt wurde. Ganz dasselbe unternahm auf der Festung Spielberg ein andrer Gefangener, Drouet, der sich wirklich herabließ, aber dabei doch ein Bein brach und liegen bleiben mußte. Gleich nach seiner Freilassung ging Garnerin daran, sein Fallschirmexperiment von einem Ballon herunter auszuführen (Paris, den 22. Oktober 1797). Er kam ziemlich unsanft herab, denn sein Schirm machte sehr bedenkliche und heftige Schwankungen. Man erkannte nun, daß ein Fallschirm, um stetig zu sinken, oben ein kleines Loch oder Abzugsrohr haben muß, was nun von da ab nie mehr fehlte.




Fig. 124. Cockings Sturz.


Fig. 125. Testu-Brissys Luftritt.

Das Beispiel Garnerins wurde später oft genug nachgeahmt, so daß man sagen kann, es sei bei gehöriger Einrichtung des Fallschirms keine besondere Gefahr damit verbunden; aber gerettet hat sich merkwürdigerweise noch nie ein in Bedrängnis geratener Luftschiffer damit. Die waghalsige Frau Garnerin schloß oft ihre Luftfahrten damit, daß sie den Ballon verließ und mit dem Fallschirme herabkam. Augenzeugen versichern, es habe sie wie ein Blitz durchzuckt, wenn die Frau mit dem noch zugeklappten Schirm einem Pfeile gleich aus den Lüften herabschoß; aber immer öffnete sich der Schirm noch zeitig genug, um sie sanft auf die Erde abzusetzen.

Robertson suchte den Fallschirm zu verbessern, indem er ihm die Gestalt eines doppelten Regenschirmes gab, von denen der eine sich auf-, der andre sich abwärts entfaltete (s. Fig. 123). Allein dies war ein Irrtum, welcher mit einem Menschenleben bezahlt ward. Noch naturwidriger war der Fallschirm des Engländers Cocking eingerichtet. Cocking war mit Green mehrmals aufgestiegen und hatte sich eingebildet, die Welt mit einem vorzüglichen Fallschirm beglücken zu können, indem er demselben die Form eines umgekehrten Regenschirmes gab, da er bemerkt hatte, daß jeder Regenschirm beim Herabfallen von einer angemessenen Höhe sich sogleich umdreht. Der Mann hatte nicht überlegt, daß dies nur infolge des Widerstandes der Luft geschieht, und daß die dann abwärts gekehrte Wölbung das Abgleiten der Luft begünstigt, wodurch der Schirm schneller der Richtung der Schwere folgen kann. Für alle Warnungen taub, bestand Cocking darauf, seinen verkehrten

Fallschirm zu probieren, und Green war leichtsinnig genug, dieser Thorheit nachzugeben Am 27. September 1836 stiegen beide zu Vauxhall in London auf, wobei der unglückliche Fallschirm unter der Gondel befestigt war, Cocking aber sich in einem darunter befindlichen Korbe befand. Nachdem man eine Höhe von ungefähr 1000 m erreicht hatte, warnte ihn Green noch einmal, allein Cocking durchschnitt das Seil, welches ihn bis jetzt mit dem Ballon verbunden hatte, und ehe es Green an dem außerordentlich schnellen Aufsteigen seines Ballons bemerken konnte, erblickte er ihn nur noch schwach, wie er die Lüfte in großer Schnelligkeit durchschnitt, so daß er in der letzten Sekunde beinahe 20 m Raum durchfallen, jene 1000 m aber in $1^1/_2$ Minute zurückgelegt hat. Man eilte nach der Stelle, wo der Schirm gefallen war, und fand den verwegenen Mann gänzlich zerschmettert.

Die Zahl der Luftfahrer mehrte sich von Tage zu Tage, und man zählte bereits im März 1785 an 35 ausgeführte Unternehmungen dieser Art. So häuften sie sich noch in der Folge durch den aufregenden Reiz, den ein Aufsteigen in die Wolken darbieten mußte, auf ganz merkwürdige Weise. Es entstanden Luftschiffer von Fach, welche einen Gelderwerb aus dem Aufsteigen machten und immer durch neue Abwechselungen die Neugierde des Publikums rege zu halten sich bemühten. Testu-Brissy nahm gar ein Pferd mit in die Gondel, auf welchem reitend er emporschwebte (Fig. 125). In den öffentlichen Gärten zu Paris ließ man als Surrogat Luftballons steigen, denen man die Form von mythologischen Persönlichkeiten gab, oder die als Pegasus gestaltet waren, und eine dergleichen Albernheit wurde immer wieder durch eine andre verdrängt. Einen wirklichen Fortschritt, eine neue Erfindung bemerken wir nirgends, und was unsre Bewunderung erregt, ist mehr die Kühnheit, mit welcher viele Luftschiffer ihre Fahrten unter oft sehr ungünstigen Verhältnissen ausführten, als die Eroberungen, welche sie dadurch für die Kultur der Menschheit gemacht hätten. Wir wollen deshalb auch nicht mit einer chronistischen Aufzählung der verschiedenen Luftfahrten, die in aller Herren Ländern unternommen wurden, ermüden, sondern nur einige wenige herausgreifen, die durch den besonderen Verlauf, den sie nahmen, oder durch einige Resultate, die sie gebracht, bemerkenswert sind.

Nach dem Tode des berühmten Blanchard setzte seine Frau die Luftschiffahrten fort, erwarb sich ein beträchtliches Vermögen, bewies aber auch bei ihren außerordentlich zahlreichen Auffahrten nicht selten die größte Verwegenheit. Es ist manchmal vorgekommen, daß sie, gegen Abend aufgefahren, die ganze Nacht in ihrem Ballon zubrachte und in der Gondel ruhig schlief, um erst am andern Morgen wieder auf die Erde herabzusteigen. Schon 1817 wäre sie bei einer zu Nantes veranstalteten Luftreise beinahe verunglückt; sie stürzte in einen Morast, der Ballon blieb jedoch noch in den Ästen eines Baumes hängen, so daß sie sich so lange in der Höhe erhalten konnte, bis man ihr zu Hilfe kam. Ihr Unglück ereilte sie aber kaum zwei Jahre darauf. Den 6. Juli 1819 stieg sie im Tivoligarten zu Paris auf und gedachte den Zuschauern das prachtvolle Schauspiel eines Luftfeuerwerks zu geben. Als sie eine beträchtliche Höhe erreicht hatte, versuchte sie eine am Fallschirm befestigte Flammenkrone von bengalischem Feuer anzuzünden, wobei sie sich einer Lunde bediente. Allein durch eine unglückliche Wendung des Ballons geriet sie damit in die Nähe der untern Ballonöffnung, und das im Ballon befindliche Wasserstoffgas entzündete sich. Man bemerkte deutlich, wie die mutige Luftschifferin bemüht war, durch Zusammendrücken des Ballonschlauchs das Feuer zu ersticken, dann aber, als sie die Vergeblichkeit ihrer Bemühungen erkannte, sich in die Gondel setzte und den Ausgang erwartete. Gleich einem Meteor leuchtete das verbrennende Gas, der Ballon sank ziemlich langsam, und wäre die Luft ruhig geblieben, so wäre Madame Blanchard vielleicht noch glücklich auf dem Erdboden angelangt; allein plötzlich erhob sich ein etwas stärkerer Luftzug und trieb den Ballon nach Paris zu. Er stürzte auf ein Dach, die Gondel glitt am Abhange desselben hinunter, Madame Blanchard stürzte heraus und der Ruf um Hilfe war das letzte, was man von ihr vernahm. Man hob sie mit zerschmettertem Schädel von dem Straßenpflaster zu Paris auf. Der Ballon war leer und beinahe unbeschädigt, das darin gewesene Gas gänzlich verzehrt.

Neben dem Namen Blanchard steht eine große Anzahl andrer, welche sich durch zahlreiche Luftfahrten bekannt gemacht haben, die Garnerins, Jakob und Elise, seine Nichte, Robertson, Margat Coxwell, vor allen aber die beiden Green, Charles Green, Vater, und George Green, Sohn; in neuerer Zeit Coxwell, die Gebrüder

Godard, Nadar, die Tissandiers, die unglücklichen Crocé-Spinelli und Sivel, welche ihren Tod durch Erstickung in einer Höhe fanden, die wahrscheinlich vor ihnen noch niemals erreicht worden war und in die sie auch wider Willen hinaufgerissen worden waren. Wissenschaftlicher Zwecke wegen sind Luftfahrten außer von Gay-Lussac und Biot in der Neuzeit namentlich von Glaisher und Welsh in England und von Flammarion in Frankreich ausgeführt worden. Zwar schmeichelt sich jeder, der das merkwürdige Fahrzeug, den Luftballon, zum erstenmal besteigt, zur Lösung meteorologischer Fragen durch seine Beobachtungen mit beizutragen und viele rüsten sich daher auch mit Apparaten und Instrumenten aus; doch sind die Resultate solcher Studien mit Vorsicht aufzunehmen; denn Beobachtungen, die nicht kontrolliert, d. h. nicht unter gleichartigen Verhältnissen wieder angestellt werden können, haben für die Wissenschaft keinen maßgebenden Wert.



Fig. 126. Greens Luftballon.

Obschon man bei der Luftschiffahrt von Vervollkommnung kaum reden kann — die Erfindungen, welche man zur Sicherheit des merkwürdigen Fahrzeugs in den ersten Jahren gemacht hat, sind heute noch dieselben, das Leitseil etwa ausgenommen, welches Green dem Ballon beigab — obschon also die Luftschiffahrt heute noch keine andre ist als im Jahre 1784, ist die Zahl der Luftreisen in der letzten Zeit eine sehr große geworden. Die Erfahrung hat ergeben, daß die Gefahren, welchen sich derjenige aussetzt, der die rohrgeflochtene Gondel besteigt, um sich von der taftenen Gasblase über den Erdboden emporheben zu lassen, nicht größere sind, als denen der Reisende im Wagen ausgesetzt ist. Wenn man auf die 20000 Luftfahrten, welche nach annähernder Schätzung ausgeführt worden sind, diejenigen mit unglücklichem Ausgange verteilt, so erweist sich ein Verhältnis, das die Befürchtungen für diese merkwürdige Art des Fortkommens durchaus nicht berechtigt erscheinen läßt. Den angsterregenden Anschein paralysiert die Statistik.

Durch die verhältnismäßig große Sicherheit ist das Zutrauen zu dem Luftballon gewachsen, und es ist in den letzten Jahren fast zur Modesache geworden, an einer Auffahrt teil genommen zu haben, ebenso wie es Modesache geworden ist, die höchsten Spitzen der Alpen zu erklimmen. Und wenn man eine Parallele zieht zwischen beiden, so befindet sich der Luftschiffer dem Bergsteiger gegenüber in dem großen Vorteil, den wundervollen Wechsel der Erscheinungen, welche die Erhebung über den Meeresspiegel begleiten, in raschester Aufeinanderfolge auf seine durch keinerlei Anstrengungen ermatteten Sinne wirken zu lassen, während der Fußwanderer oft nur in der Überwindung der Schwierigkeit seinen Lohn finden muß, da die Strapazen und Entbehrungen häufig für andre Eindrücke jede Empfänglichkeit vernichten. Indessen möchten wir überhaupt nicht in allen Fällen die beiden Arten, in die Höhen des Luftmeeres zu dringen, miteinander vergleichen. Außer etwa darin, daß Ausgang, Erreichung der größten Höhe und Rückkunft durch Maxima und Minima des Barometerstandes bezeichnet werden, haben sie eigentlich nichts Übereinstimmendes, man müßte denn die Einförmigkeit der Schilderung, welche die Beschreibungen der Luftfahrer in derselben Weise charakterisiert wie die Berichte der Alpenklubs, als etwas

Gemeinsames ansehen. Soviel des Großartigen auch für den Reisenden selbst die Fahrt bietet, sowenig läßt sich dasselbe in Worte fassen, welche dem Unbeteiligten ein Bild davon geben könnten; und da die allgemeinen Erscheinungen, auf deren Erwähnung die Schilderung schließlich sich beschränken muß, bei jeder Fahrt wiederkehren, so ähnelt ein solcher Bericht dem andern wie ein Ei dem andern. Wir begnügen uns daher, aus der großen Zahl der Schilderungen von Luftfahrten nur einige wenige herauszugreifen, welche durch die dabei beteiligten Persönlichkeiten, durch besondere Zufälle oder auch durch ihre Darstellung ein erhöhtes Interesse für uns haben.

Greens Luftfahrt über den Kanal. Der Name Green ist mit der Geschichte der Luftschiffahrt auf das engste verflochten; man wird bei Napoleon immer an Kriege, bei Paganini immer an die Geige, bei dem Namen Green wird man immer an den Luftballon denken. Der alte Green, geboren im Jahre 1784, erreichte ein Alter hoch in den Achtzigern, hat über 1600 Luftfahrten ausgeführt, ist dreimal über den Kanal geflogen und hat in seiner Gondel unter den mehr als 700 Passagieren, die mit ihm Reisen gemacht haben, auch 120 Frauen zu Begleiterinnen gehabt. Vor allen interessant ist die Reise, welche Charles Green im November 1836 von London aus unternahm.

Die Reise über den Kanal war seit Pilâtre de Rozier zu wiederholten Malen, teils von England, teils von Frankreich aus, gemacht worden, als am 7. November 1836 Green mit noch zwei Gefährten in London aufstieg. Sein großer Ballon war statt des teuren Wasserstoffgases mit dem viel wohlfeileren, aber nicht so leichten Kohlenwasserstoffgas (Leuchtgas) gefüllt. Die Reisenden hatten noch englischen Boden unter sich, als schon der Abend anbrach, doch bewegte sich der Ballon unzweifelhaft nach der französischen Küste zu. Es ward Nacht. Die Schiffer schwebten über der stürmischen Nordsee, sie erkannten dieselbe am Gebrause der Wellen, während der Ballon sich rastlos in den oberen Regionen fortbewegte. Von weitem erblicken sie ein Lichtmeer: es ist die Hafenstadt Calais; der Ballon fliegt bald darauf fast über sie hoch in den Lüften weiter. Mitternacht ist gekommen, da gewahrt man in der Ferne, außer vielen andern bisher ununterbrochen aufeinander folgenden Orten, einen neuen von ganz besonderm Umfange. Man geht fast über das von Gasflammen erleuchtete Lüttich hinweg, aber auch diese Lichter erlöschen, und die Luftschiffer sind die einzigen Wesen, die, in die Dunkelheit der Nacht gehüllt, den etwas leuchtenden Ballon über sich, den Luftraum durchsegeln. Die Reise geht über Belgien und die preußischen Rheinlande; schon sehen sie in den Morgenstunden wieder überall aufflammende Lichter, bis der Tag sie endlich begrüßt und die Sonne sich über die Erde erhebt. Ein schönes Hügelland liegt unter ihnen, die Morgennebel weichen und nunmehr gedenken sie sich niederzulassen. Der Anker fällt, bereits sind Landleute auf dem Felde, man hat sie bemerkt, und so befremdlich auch immer ihr Erscheinen ist, so leistet man doch gern thätige Hilfe. Die Ankömmlinge erfahren zu ihrem Erstaunen, daß sie in der Gegend des Mittelrheins, bei Weilburg im Nassauischen, sich befinden und beinahe 90 deutsche Meilen in 19 Stunden zurückgelegt haben. Der Ballon, mit welchem diese Reise ausgeführt wurde, erhielt in Zukunft den Namen Nassau; Green hat allein in ihm 130 Luftfahrten gemacht.

Guérins unfreiwillige Erhebung. Daß es auch unfreiwillige Luftfahrer geben könne, ersehen wir aus einem Falle, der sich 1843 zu Nantes ereignete. Dort hatte der Luftschiffer Kirsch eine große Auffsteigung angekündigt. Eine ungeheure Zuschauermenge drängte sich in und um die Promenade von La Fosse. Schon war der Ballon gefüllt und alles zur Abfahrt bereit, als plötzlich eines der Seile, womit er an zwei Masten befestigt war, zerriß. Das andre war nun nicht mehr ausreichend, um ihn zurückzuhalten, und der Ballon hob sich, das Schiffchen, welches nur erst an einer Seite festgeknüpft war, sowie das Rettungsseil, woran der Anker hing, mit sich fortreißend. Eine ziemliche Strecke schleift der Anker auf dem Pflaster hin und erfaßt einen zwölfjährigen Knaben, Namens Guérin, einen Stellmacherlehrling, hakt sich an dessen Beinkleidern fest, reißt sie vom linken Knie bis zur Hüfte auf und bleibt dort in schräger Richtung an dem Unterleibe hängen, so daß die eine Ankerspitze über der linken Hüfte aus den Beinkleidern hervordringt. So festgehakt wird der Knabe, der noch keine Ahnung hat, welch eine gefährliche Luftfahrt ihm bevorsteht, ein Stück mit fortgeschleift, ehe seine Füße den Boden verlassen. Von einem unbewußten Instinkt geleitet, klammert er sich mit beiden Händen an das Ankerseil an, als wolle er sich

mit klarem Bewußtsein zur Fahrt vorbereiten und durch diese Stellung sichern, und wird nun, zum großen Entsetzen der versammelten Menschenmenge, mehr als 100 m hoch in die Lüfte emporgetragen. Eine furchtbare Katastrophe schien allen unvermeidlich; allein wie durch ein Wunder senkt sich der Ballon in kurzer Entfernung von der Stadt, fällt langsam auf einer Wiese nieder und der Knabe geht gesund und unversehrt aus dieser gräßlichen Prüfung seines jugendlichen Mutes hervor.

Arbans Auffahrt in Triest. Der Franzose Arban hatte 1846 den Triestinern mehrmals eine Luftfahrt angekündigt, mußte aber solche wegen eingetretenen schlechten Wetters zweimal aufschieben. Am 8. September hatte man endlich im Hofe der großen Kaserne den Ballon mit Gas zu füllen angefangen und einen kleinen Ballon steigen lassen, um die Richtung des Windes zu erkennen; damals ging der Wind von Südwest gegen Nordost. Durch ein Versehen bei Bereitung des Gases wurde davon nicht die nötige Menge erzeugt, um den Ballon damit so zu füllen, daß er geeignet gewesen wäre, den Luftfahrer und die mit verschiedenen Geräten angefüllte Gondel zu tragen. Es schlug bereits 6 Uhr, ohne daß die versprochene Fahrt, welche auf 4 Uhr angesagt worden war, stattfinden konnte, und die Menge fing an, unruhig zu werden. Nun faßte Arban, in der Voraussetzung, daß man glauben werde, er wolle das Publikum hintergehen, den tollkühnen Entschluß, ohne die Gondel, sich nur an dem dünnen Seile festhaltend, in die Luft zu fahren. Er entfernte unter schicklichem Vorwande sowohl den Polizeikommissar als seine eigne Frau, die mit ihm die Luftfahrt unternehmen sollte, wie sie es bereits früher in Mailand und Vicenza gethan hatte, löste die Gondel ab, schürzte die Seile, an die sie befestigt war, in einen Knoten, setzte sich darauf, ließ den Luftballon los, und indem er sich mit der linken Hand an die Seile hielt und mit der rechten das Volk grüßte, erhob er sich zum Erstaunen aller Anwesenden in die Lüfte. Mit Bewunderung sah man dem verwegenen Luftfahrer nach, welcher lieber sterben als sich eines Wortbruchs schuldig machen wollte. Der Ballon stieg majestätisch gerade aufwärts, bis er die Höhe von etwa 400 m erreichte, und schien sodann die Richtung gegen die Berge von Carso zu nehmen; plötzlich aber änderte er seinen Weg und wurde mit außerordentlicher Schnelligkeit in der entgegengesetzten Richtung, und zwar gegen den Golf von Triest dahingetragen. Eine Stunde lang sah man ihn immer in der nämlichen Richtung, bis er in den Wolken verschwand. Man gab Arban verloren, bedauerte ihn aber aufrichtig, um so mehr, da die Verzweiflung seiner Gemahlin, welche die ganze Nacht am äußersten Ende des Molo San Carlo zubrachte, jeden fühlenden Menschen tief rühren mußte. Eine große Anzahl Barken wurden sogleich ausgeschickt, um dem ungefähren Laufe des Luftballons zu folgen, allein die ganze Nacht verstrich, und immer noch blieb Arbans Schicksal unbekannt.

Am folgenden Morgen endlich erschien bei Sanitàd marittima ein Fischerkahn, worauf sich der Luftschiffer befand. Der Kahnführer und sein Sohn gaben an, sie seien am vorigen Montag von Chioggia abgefahren, um in den Gewässern von Grao auf den Fischfang auszugehen. Als sie sich eben zur Arbeit anschickten, sahen sie den kaum noch zur Hälfte gefüllten Luftballon mit Arban auf den Wellen schwimmen, der, bis an die Schultern im Wasser, sich nur mühsam über demselben erhalten konnte; sie steuerten auf ihn los, erreichten ihn etwa zwei italienische Meilen entfernt von dem Felsen von Grao und retteten ihn vom sichern Tode. Dies geschah gegen 11 Uhr abends. Nach Aussage Arbans war er schon vor 8 Uhr herabgekommen; er hatte demnach drei volle Stunden im Meere zugebracht und, da er das Spiel der Wellen wurde, eine Menge Meerwasser schlucken müssen. Indessen kam er doch noch wohlfeilen Kaufs davon und es hatte, mit Ausnahme eines Fiebers, dieser halsbrecherische Versuch keine weiteren Folgen für ihn.

Coxwells und Gypsons mißglückte Luftfahrt bei Nacht. Der unglückliche Ausgang vieler Luftfahrten ist nicht immer einer und derselben Ursache zuzuschreiben. Es können eine Menge Umstände eintreten, und zwar so plötzlich, daß die Umsicht des Erfahrensten nicht hinreicht, im rechten Augenblicke allemal das entscheidende Gegenmittel anzuwenden, denn infolge der bedeutenden Größe der Maschine sind die einzelnen Teile nicht anders zugänglich als durch Schnurwerk, das sich leicht verfitzt, und, was noch schlimmer ist, sie sind für die Luftschiffer selbst zum größten Teil unsichtbar und die Diagnose ist oft nicht so rasch zu machen, als das Unglück schon geschehen ist. Das Schicksal selbst geübter

Physiker und erfahrener Luftschiffer beweist dies zur Genüge. Der Ballon, in welchem Carlo Brioschi, königlicher Astronom zu Neapel, und Signor Andreani aufstiegen, zerplatzte in den höheren dünnen Luftschichten, das Versagen des Ventils kostete Coxwell und seiner Gesellschaft beinahe das Leben.

Am 9. Juli 1847 wollten Coxwell und Gypson in Begleitung mehrerer andrer abends in den Gärten des Vauxhall aufsteigen und vom Ballon aus ein Feuerwerk abbrennen. Es war ungewöhnlich dunkel und nebelig, kaum wehte ein Lüftchen, aber ein Gewitter war im Anzuge. „Endlich", erzählt der Berichterstatter, „waren alle Vorbereitungen getroffen. Wir nahmen einige Vorräte mit, da Herr Gypson beabsichtigte, die ganze Nacht oben zu bleiben, und nachdem noch sechs oder acht Säcke Sand als Ballast eingeladen waren, gab er den Befehl, den Ballon loszulassen. Die Musik spielte, das Volk jubelte und der Ballon stieg mit außerordentlicher Schnelligkeit auf, drehte sich aber im Aufsteigen herum. Der erste Versuch, das Feuerwerk mittels eines Schusses in Brand zu bringen, schlug fehl, der zweite gelang besser, und Kaskaden von farbigem Feuer schossen durch die Lüfte, was eine herrliche Wirkung gemacht und von Vauxhall aus vortrefflich ausgesehen haben muß. Inzwischen begann auch das Feuerwerk in Vauxhall, und wir sahen sowohl den Lichtglanz um den Garten herum, als auch das Steigen der Raketen; dann und wann erhellte ein Blitz das ganze Panorama, doch in zu flüchtiger Weise, um die Einzelheiten desselben unterscheiden zu können. Über uns war der Himmel sichtbar und mit unzähligen Sternen besäet.

„Wir stiegen immer höher und höher, bis uns Herr Gypson sagte, wir hätten die Höhe von 7000 Fuß erreicht; in diesem Augenblick benachrichtigte Herr Coxwell, welcher die Ventilleine zu halten hatte und auf dem Ringe des Netzwerkes über uns saß, Herrn Gypson, daß der Ballon infolge der außerordentlichen Verdünnung der Luft sehr straff werde. Es wurde sofort Befehl gegeben, den Ballon zu sichern, indem durch das obere Ventil etwas Gas herausgelassen werden sollte. Herr Coxwell zog an der Leine, und gleich darauf hörten wir ein Geräusch, ähnlich, aber nicht so laut wie das, wenn man den überflüssigen Dampf einer Lokomotive ausströmen läßt, der untere Teil des Ballons sank rasch zusammen und zog sich gegen den oberen Teil ein. Herr Gypson rief sogleich: „Guter Himmel, was ist los?" — worauf Herr Coxwell erwiderte: „Das Ventil! Wir sind alle des Todes!" und in demselben Augenblicke fing der Ballon an mit erschrecklicher Schnelligkeit zu fallen. Zwei von unsrer Gesellschaft brachen sofort in Ausrufe der Furcht und des Schreckens aus; inmittels wurde alles über Bord geworfen, um den Ballon zu erleichtern, doch es half nichts. Der Wind raste noch immer furchtbar über unsre Köpfe hin, und um das Maß des Schreckens dieser wenigen Augenblicke voll zu machen, kamen wir mitten in das Feuerwerk hinein, welches durch die Lüfte zischte, so daß sich einige ausgebrannte Raketen und noch glimmende Pappe an das Seilwerk des Ballons anhängten und dort in Funken zerstoben. Die Blitze zuckten ohne Unterbrechung um uns herum, und die ganze Maschine fing bald an zu zittern und zu beben.

„Wie lange Zeit wir zum Fallen brauchten, kann ich mir gar nicht denken, doch müssen es wenigstens zwei Minuten gewesen sein. Unsre Rettung schreibe ich allein dem Umstande zu, daß das obere Netzwerk des Ballons nicht zerriß und die luftleere Seide in Form eines Sonnenschirms festhielt, der uns als Fallschirm diente. Wir sahen nun die Häuser von London, deren Dächer auf uns zuzukommen schienen, und in dem nächsten Augenblicke, als wir an einem Dachfirst vorübersausten, riefen wir alle zugleich: „Festgehalten!" Der Anprall, als wir in der Quere zur Erde niederkamen, war furchtbar heftig, wir wurden samt und sonders aus unsrer Gondel herausgeschleudert und fielen in das Netzwerk und die Seide des Ballons, welches erstere uns so umgarnte, daß wir uns anfangs gar nicht regen konnten, und wären wir in die Themse gefallen, so würde das unser Tod gewesen sein. Es hatte sich sogleich eine große Menschenmasse um uns versammelt, die uns aus unsrer Haft befreite und uns herzlich Glück zu unsrer Rettung wünschte! So unbegreiflich es scheinen mag, so war doch niemand ernstlich verletzt: zerrissene Kleider, zerknitterte Hüte und einige Schmarren und Quetschungen, das waren die schlimmen Folgen unsres Falles durch die Strecke einer englischen Meile."

Coxwells Aufsteigen von Leipzig aus. Es ist bezeichnend für die ganze Luftschiffahrt, daß sich unser Interesse an ihrer Geschichte von dem Augenblicke an, wo das Aufsteigen von

Menschen überhaupt gezeigt, und dann, als zum erstenmal eine bedeutendere Entfernung im Ballon zurückgelegt worden war, hauptsächlich durch die Unglücksfälle nährt, welche den Aëronauten hier und da zugestoßen sind. Das Schauspiel des Aufsteigens selbst ist höchst einfach und vermag den Verständigen vielleicht nur bei der ersten Beobachtung anzuziehen; die Menge fühlt sich durch den Gedanken an die Möglichkeit eines Unfalls, von dem sie Zeuge sein könnte, gekitzelt — und betrachtet die Luftschiffer kaum anders als die Seiltänzer — beide könnten doch einmal den Hals brechen.



Fig. 127. Coxwells Ballon in Leipzig.

Anders muß der Eindruck freilich auf diejenigen sein, welche sich der seidenen Blase anvertrauen und mit der Gondel in dem Luftozeane emporsteigen. Wir wollen die charakteristische Schilderung einer Fahrt folgen lassen, welche unter Coxwells Leitung 1851 von Leipzig aus unternommen wurde, um zu zeigen, in welcher Weise das Ungewohnte der Eindrücke die Phantasie zu erregen vermag. Die Schilderung ist von unserm inzwischen verstorbenen Mitarbeiter Herrn Dr. W. Hamm, der an der Fahrt teilnahm.

„Der Ballon (s. Fig. 127) hatte 65 Fuß Höhe, 125 Fuß Umfang, 35 000 Kubikfuß Raumgehalt, mit einer für vier Personen Sitz gewährenden Gondel, und ward im Hofe der Gasbereitungsanstalt mit ungefähr 25 000 Kubikfuß Leuchtgas gefüllt. Nach sorgfältiger Abwägung des Verhältnisses des Ballastes zur Tragkraft des Ballons öffnete Herr Coxwell

kurz nach 5 Uhr die Halteklammer, und der Ballon stieg schnell und sicher in der Richtung von Nordost gegen Südwest über den westlichen Teil der Stadt empor, wo er nach wenigen Minuten in der dichten Regenwolkenmasse verschwand, die den Himmel überall gleichmäßig bedeckte. Mit Eintritt in die Wolkengrenze, gegen 4000 Fuß über der Stadt, überflorte zuerst leichtes Nebelgewebe das interessante Bild des bewegten Meßplatzes und entzog es, dichter und dichter werdend, sehr schnell dem Auge vollständig.

„In demselben Momente bildete das Nebelgrau der Wolken mit der ihm als Folie dienenden Farbe der Erde ein nächtliches Dunkel unterhalb der Gondel, während neben und über ihr sich ein überall gleich trübes Hellgrau zeigte. Schnell jedoch verschwand dieses Nachtdunkel wieder und mit ihm das letzte sichtbare Zeichen der Erdnähe. Die Geräusche drangen nur verworren und dumpf zum Ohr; das Auge vermochte seine Kraft an keinem Gegenstande zu messen; schweres Atmen und leichte Kopfbeklemmung erinnerten lebhaft an die dicksten, aber geruchlosen Herbstnebel, deren Dichtigkeit hier übertroffen ward. Die Temperatur war merklich gesunken und feuchtkalt. Tropfbar flüssiger Niederschlag war nicht bemerkbar. Dieses für das Auge unergiebige Terrain ward benutzt, den Anker ans Tau zu knüpfen und herabzulassen. Neue Ballastverminderung beschleunigte den Flug des Ballons, und mit freierer Kraft schwang er sich, ohne merkliche Bewegungen wahrnehmen zu lassen, zur oberen Grenze der wohl 3000 Fuß im Durchmesser haltenden Wolkenschicht.

„Überrascht durch die Schnelligkeit der Szenenveränderung und bewundernd streifte hier das Auge über ein ungeahntes Panorama. Unter riesigem Nebelgewölke breitete sich ein unabsehbares Wolkenmeer wunderschön von Horizont zu Horizont. Die reinste Atmosphäre gestattete zwischen den beiden Wolkenlagen den fernsten Blick innerhalb der scheinbaren Wolkenbegrenzung. Die bald malerisch zarten, bald seltsamen Gebilde schienen die Formen der Erdoberfläche in allen Farbenverbindungen von Weiß und Blau zu Grau und in magisch matter Beleuchtung nachbilden zu wollen. Die sich anscheinend neigenden Grenzen und die Wölbung des wohl über 2000 Fuß entfernten Nebelhimmels gaben dem Ganzen die Gestalt einer riesigen Zauberhöhle und verrieten die gleichmäßige Ausbreitung der gewaltigen Wolkenlagen über der Erde. Von letzterer herauf drang in die lautlose Ruhe dieser abgeschlossenen Luftwelt, in deren Mitte der Ballon geräuschlos schwebte, nur noch leise der Ton des rollenden Dampfwagens. Wie für das Auge, so hatten sich die Wahrnehmungen auch für das Gefühl und die Atmung geändert: die Luft war trocken und deshalb angenehmer kühl, die Respiration leicht und frei, die Benommenheit des Kopfes verschwand. Das unbeschreibliche Wohlbehagen glich dem, welches die Fahrt in ungetrübtem Sonnenlichte selbst dem Körper unvergeßlich macht. Aber der Genuß trieb aufwärts zu neuen Genüssen: etwas Ballast weniger und das Logg des Luftschiffes, der leichte Papierstreifen, sank pfeilschnell neben der Gondel hinab. Der Ballon, bereits an der Grenze der zweiten Wolkenschicht schwebend, mußte wiederum gegen 2000 Fuß höher, ehe er dieselbe völlig durchmessen. Ein unbemerkt gebliebener Mitreisender, eine große Mücke, verließ den Ballon. Sie schwirrte kurze Zeit nebenher und war plötzlich — wahrscheinlich bald erstarrt — nicht mehr zu sehen. Die Hoffnung, jetzt schon zu dunstfreiem Äther zu gelangen, bestätigte sich nicht; aber der Ersatz für diese Täuschung war überreich. Mit dem Austritt des Ballons aus der zweiten Wolkenlage zeigte sich dasselbe Gebäude in einer abgeschlossenen Luftwelt wie zwischen den untersten Schichten: das Bild einer riesigen Wolkenhöhle, erfüllt mit Ätherreinheit, umgrenzt von oben herab durch ein silbergrau strahlendes Dunstfirmament und von unten herauf von tropfsteinähnlicher Wolkenschöpfung, mit derselben Wölbung der Horizonte, denselben idealen Gebilden, aber überall erhabeneren Formen, kristallähnlich leuchtend, starr und dennoch weich ineinander gewoben, von zauberischem Zwielicht, voll reizender Reflexe und mit einer geisterhaften Ruhe übergossen, zu der kein Erdengetöse auch nur den leisesten Boten zu senden vermochte. Nirgends Leben und dennoch kein Grabgefühl! Über die fernen Silberströme vor tiefblauen Buchtungen, über die strahlende Trümmerwüste, begrenzt von erstarrten Meereswogen, über die Hünengräber am Strande, die malerische Hügelwelt des unabsehbaren Nebellandes führte die entfesselte Phantasie unwillkürlich die Geister Ossians.

„Ist das nicht wundervoll?“ rief Coxwell tiefbewegt; aber der Ton seiner Stimme war metallos, sein Hauch streifte winterlich weiß vorüber. Ein Zug am Ventil: der sonst



Das Buch der Erfind. 8. Aufl. II. Bd. Leipzig: Verlag von Otto Spamer.

Luftballon in einem Wolkengewölbe.

so laute Schall war matt. Der Lichtschein des Gases im Ballon war dunkler, und dieser, vorher nur unvollständig gefüllt, völlig gespannt. Er stand dicht an der Grenze der dritten Wolkenzone, ungefähr 11 000 Fuß hoch. Es war 18 Minuten nach 5 Uhr.

„Der Zweck der Reise war erfüllt: der Blick in die Wolkenschleier des Himmels gethan. Die Zahl der Nebelgewölbe, welche noch höher schwebend jeglichen Sonnenstrahl aufhielten, blieb unbekannt; das Herz sehnte sich nach so hoher Dämmerungspracht nicht nach der Tageshelle; darum grüßte scheidend der Blick noch einmal die Wunderwelt; die sichere Hand zog das Ventil und — urplötzlich zeigte der Druck aufs Gehirn die Schnelle der Rückfahrt. Bald war die zweite Wolkenschicht wieder durchschnitten; langsam glitt der Ballon durch die Schönheit des unteren Zwischengewölbes herab; die feste Hand an der Schnur des Ventils, das sichere Auge voll Befriedigung bald auf die flatternden Papierstreifen, bald auf die Spannung der Seide gerichtet, Ballast und Gas gemessen verwendend, führte Coxwell sein Schiff gefahrlos heimwärts. Schon nahm es derselbe Nebel wieder auf, der es aufwärts zuerst empfangen. Die Nebelmassen wurden dunkler in der Mitte der Schicht; selbst der nur 130 Fuß unter der Gondel schwebende Anker war kaum erkennbar. Auf den Ballon schlug der Regen, den Coxwell schon oben in den reinen Zonen vorherverkündet. Wieder tönte das Rollen des Dampfwagens, drang Hundegebell herauf. Das Grau unter der Gondel ward wiederum nachtdunkel wie nach dem Verschwinden des Anblicks der Erde; mitunter schienen hellere Stellen bemerkbar, und plötzlich entschleierte sich das frische Bild von Wäldern und Auen mit einzelnen Dörfern, zwischen welchen das Silberband eines Flusses (der Saale) sich hinzog. Der Ballon ging über denselben hinweg, einer in der Ferne liegenden Stadt (Lützen) zu. Aber der Wind trieb linkwärts von ihr ab, und so galt es, in der Nähe eines der größeren Dörfer zu ankern.

„Über zwei Dörfer strich das Schiff hinweg, ohne daß die Frage nach dem Namen der Gegend unten gehört ward; aus dem dritten Dorfe drang der Freudenruf „Ein Ballon! Ein Ballon!“ herauf. Das bewog, hinabzugehen. Coxwell bestimmte ein hochliegendes Stoppelfeld, ungefähr eine Viertelstunde entfernt, zwischen den Salinen Dürrenberg und Kötschau, zum Landungsplatz und ließ sich $6^1/_4$ Uhr — mittels Gas und Ballast (der herabfallende und sich senkrecht unter dem Fahrzeuge ausbreitende Sand konnte schwebend 34 Sekunden lang wahrgenommen werden) die Visierlinie sicher innehaltend — so ruhig und sanft am Rande des bezeichneten Feldes nieder, das selbst der leisefte Rückprall der Gondel vermieden ward.“

Lamountains Luftfahrten. Amerika hat ebenfalls sehr zahlreiche Luftfahrten gesehen. Am 1. Juli 1859 unternahmen vier Amerikaner, der Aëronaut Lamountain, Wise, Gayer und Hyde, von St. Louis aus eine Fahrt zu dem Zwecke, den Weg bis New York, ungefähr 600 Stunden, in der Luft zurückzulegen. Ihr Ballon war 50 m hoch und hatte 20 m im Durchmesser; sie erhoben sich wechselnd zu ziemlich bedeutenden Höhen und schilderten den Eindruck, den die tiefliegenden Landschaften mit ihren Strömen, Wäldern und Prärien in der nächtlichen Beleuchtung machten, als ganz zauberisch. Eigentlich finster wurde es während der ganzen Nacht nicht. Selbst in einer Höhe von 3000 m waren die Reisenden immer im stande, die Prärien von den Wäldern zu unterscheiden. „Wir schwammen“, erzählt einer der Mitreisenden, „in einer Art von durchsichtigem Duft, welcher, ohne einen wahrnehmbaren Körper zu besitzen, dennoch aus Lichtteilchen zusammengesetzt schien. Die Wirkung dieses Lichtes war sehr eigentümlich. Es gab dem Ballon einen phosphoreszierenden Schein, als wenn er mit Feuer geladen wäre. Derselbe war so stark, daß jede Linie des Netzes, jede Falte der Seide, jede Schnur und jeder Knoten deutlich sichtbar wurden.“

Die Schilderung der Erlebnisse, welche ihnen während der Fahrt zugestoßen sein sollen, ist so abenteuerlich, daß wir uns ersparen wollen, sie hier abzudrucken, indem wir es getrost der Phantasie der Leser überlassen können, sich einen Apparat von kohlschwarzen Wolken, Sturz in den Ontariosee, Wegwerfen alles Ballastes, sogar der Gondel, rasendes Wiederaufsteigen mit den im Strickwerk festgeklammerten Reisenden, Flug über den Niagara, Kanada, Urwald u. s. w. zusammenzusetzen und damit ein Schauspiel sich vorzuführen.

Seit jener Reise ist viel die Rede gewesen von einer noch weit größeren, von einer Fahrt von Amerika über das Weltmeer nach Europa. Man hat sogar den hierzu bestimmten

Ballon mit seinem vielerlei Zubehör in New York für Geld gezeigt, und vielleicht war dies gerade das Geschäft, das beabsichtigt worden ist, denn von der Luftreise selbst ist es wieder ganz still geworden.

Der genannte Luftschiffer Lamountain hat mittlerweile bei einer Fahrt sein Leben eingebüßt. Zu Jona in Michigan stieg er am 4. Juli 1873 in einer Montgolfière empor. Unglücklicherweise hatte er die Gondel nicht auf die gewöhnliche Art an dem Ballon befestigt, sondern mit Hilfe eines Systems von Stricken, die von einem Ringe zusammengehalten waren, der über den oberen Teil des Ballons gelegt war, im übrigen aber von demselben unabhängig war. Wie es nun gekommen, daß der Ballon sich von dem Netzwerk trennte, weiß man nicht. Genug, kurze Zeit nachdem der Luftschiffer in der ersten Wolkendecke verschwunden war, erschien er plötzlich wieder, aber ohne Ballon, allein in seiner Gondel, mit rasender, immer wachsender Geschwindigkeit stürzte er zur Erde herab, die er angesichts Tausender von Zuschauern erreichte. Mitten in einem Felde schlug er zu Boden — von der Gewalt des Stoßes zusammengedrückt zu einer leblosen, fast unkenntlichen Masse.

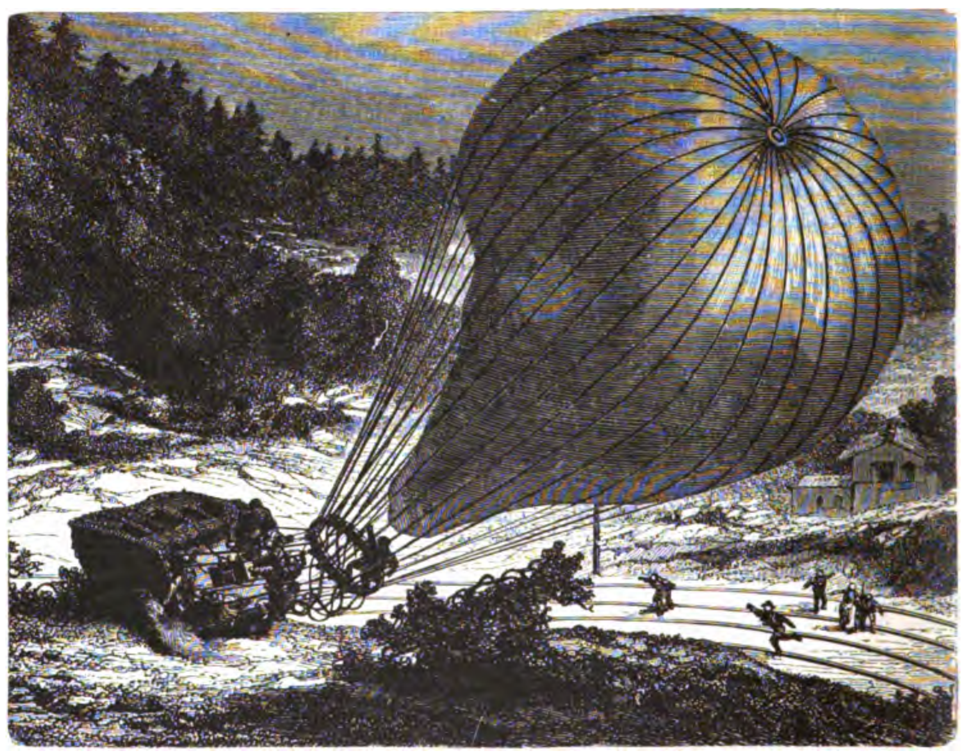


Fig. 128. Katastrophe des „Geant“.

Das schauerliche Ereignis war aber höchst wahrscheinlich die Folge von der Unvorsichtigkeit, mit welcher Lamountain die Ausrüstung seines Ballons bewirkt hatte.

Nadars Luftreise von Paris aus. Anfang der sechziger Jahre hatte ein Dr. Roth, der auch eine Rechenmaschine erfunden hatte, den Plan zu einem neuen Luftschiff entworfen. Der Kostspieligkeit wegen fand derselbe aber keine Verwirklichung, bis sich endlich Nadar, der bekannte Journalist, Mediziner und Freiheitskämpfer, der Sache annahm. Mit Hilfe der Presse wußte er die Pariser zu einer Aktiengesellschaft zu begeistern, welche die Mittel der Veranstaltung zu beschaffen übernahm.

Es wurde zunächst ein riesenmäßiger Luftballon gebaut, „Le Géant“, mit welchem Reisen gemacht und Ausstellungen veranstaltet werden sollten, um auf diese Weise das nötige Geld für die große Maschine zu beschaffen. Der „Geant“ bedurfte über 6000 cbm Gas zu seiner Füllung. Die Gondel (Fig. 129) war das Interessanteste an der ganzen Maschine.

Aus spanischem Rohr hergestellt, dessen Festigkeit sich ausgezeichnet bewährt hat, bestand sie aus zwei Stockwerken und hatte das äußere Ansehen eines Eisenbahnwaggons. Sie enthielt alle Bequemlichkeiten, die man bei einer Reise von mehreren Tagen etwa brauchen kann, als Betten, Toilettentische, photographische Apparate, eine Presse, physikalische Instrumente, Nahrungsmittel rc. In jeder Art hatte man sich vorgesehen mit dem, was einen Erfolg in Aussicht stellte. Diese erste Luftfahrt aber, bei welcher sich wie zu Zeiten der Montgolfiers halb Paris als Zuschauer eingefunden hatte, war von kurzer Ausdehnung. Der Ballon stieg ungefähr 2000 m hoch, kam aber schon bald wieder zurück. In Meaux, wenige Stunden vor den Thoren von Paris, fiel Nadar mit seiner Gesellschaft ziemlich unsanft nieder, was nach dem pomphaften Programm den spottlustigen Parisern überreichen Stoff zu Witz- und Stachelreden gab.

Die Journale übernahmen seine Rechtfertigung, und als die zweite Abfahrt stattfinden sollte, hatte das Publikum wieder eine mildere Gesinnung gewonnen.

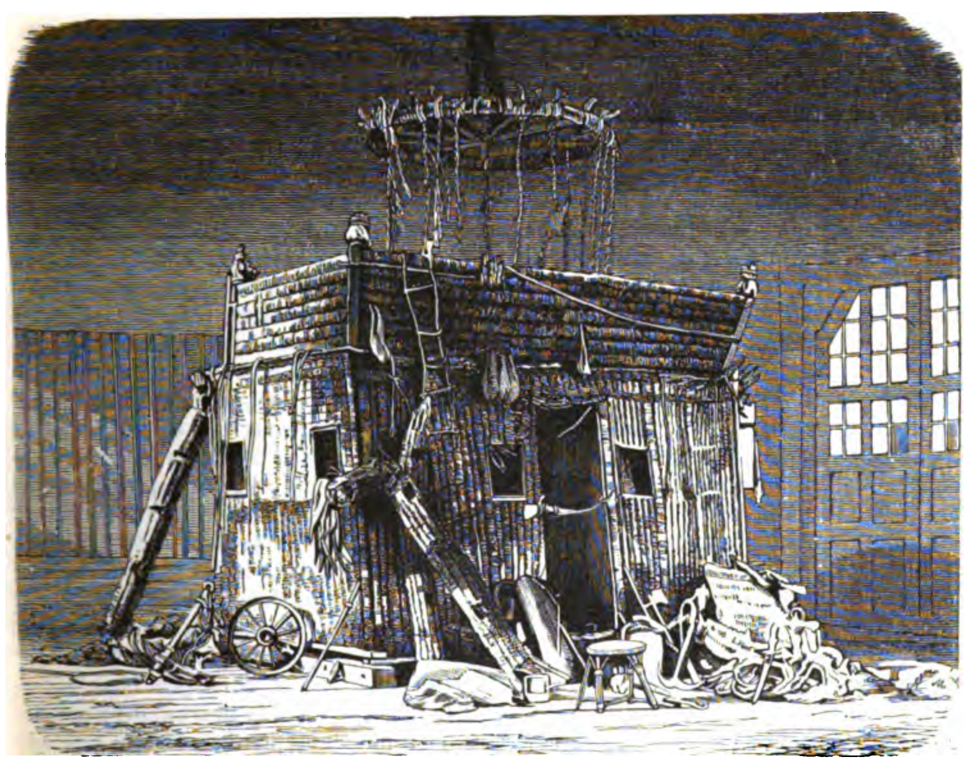


Fig. 129. Die Gondel des Nadarschen Ballons nach der Zerstörung.

Womöglich noch mehr Zuschauer als das erste Mal hatten sich auf dem Marsfelde eingefunden und gerieten in neues Entzücken, als kurz vor dem Einbruch der Dunkelheit der „Geant“ mit seinen Insassen sich in die Lüfte erhob. Wie früher, so war auch diesmal der bekannte Godard als Kondukteur mit im Waggon, im ganzen eine Gesellschaft von neun Personen. Das Ereignis war Tagesgespräch, Nadar in aller Munde und die Montagszeitungen wurden mit der größten Hast nach Berichten über die Aëronauten durchflogen. Sie ließen aber lange warten. Am dritten Tage kam die Nachricht, der „Geant“ sei in Deutschland an der Weser zur Erde gelangt, Nadar und dessen mutige junge Frau schwer verwundet, die meisten Teilnehmer verletzt.

Dem war in der That so. Nach einer ziemlich unerquicklichen Fahrt die Nacht hindurch, wo man den Ballon sich niedrig halten ließ, fand man sich am nächsten Morgen über einer weiten, mit Nebel bedeckten Fläche, welche man für holländischen Boden hielt, und da Nadar hier die Nähe des Meeres fürchtete, gab er das Signal zum Niederlassen. Durch den Thau

und Nebel der Nacht waren aber die Stricke, welche das Ventil öffnen sollten, so zähe und schlüpfrig geworden, daß sie beinahe den Dienst versagten. Das Gas entströmte nicht in hinreichender Menge, um ein vollständiges Hinabgehen zu erreichen. Dazu gesellte sich ein heftiger Wind, welcher den voluminösen „Geant“ mit aller Macht vor sich hinjagte.

Man hatte in nordöstlicher Richtung einen Weg von über 360 Lieues in 14 Stunden zurückgelegt und in der Nacht eine Route verfolgt, welche auf der Karte ungefähr durch die Punkte Compiègne, St. Quentin, Brüssel, Mecheln, den Bosch, Arnheim, Nienburg, Rethem u. s. w. bezeichnet wird. Schon bei Nienburg beschlossen die Reisenden niederzugehen, allein der Ausfluß des Gases war so unvollständig, daß die Gondel nur den Boden berührte. Sobald aber der Ballon dadurch sich erleichtert fühlte, hob er sich und zog den Waggon wieder mit in die Höhe. Auf diese Weise war die weitere Reise ein fortwährendes Springen in weiten Bogen über Felder und Hecken, Felsen und Bäume. Die Anker hatte man in Nienburg schon eingebüßt.

Als man hier auf dem Bahnhofe die Erscheinung des Ballons bemerkt hatte, war eine disponible Lokomotive mit einem Wagen herausgefahren, um das Wunder näher in Augenschein zu nehmen. Die Maschine war zur rechten Zeit da, aber Hilfe konnte nicht geleistet werden. Das Ungetüm passierte die Bahn, riß mit der Gondel ein Stück Damm ein und war, nachdem es die starken Telegraphendrähte zerrissen, wozu beiläufig ein Druck von hundert Zentnern gehört, mit einem Ruck wieder darüber hinweggesetzt. Immer weiter ging die gefährliche Reise. Im Innern der Gondel herrschte die größte Verwirrung. Die Insassen wurden nach allen Richtungen umhergeschleudert. Endlich gelingt es, durch Ballastauswerfen den Ballon wieder zum Steigen zu bringen. Der mutige Jules Godard steigt an den Stricken in die Höhe und öffnet die Luftklappe. Es ist gelungen, der Ballon fällt gänzlich. Leider aber treibt ihn der heftig wehende Wind noch in das etwa eine Stunde von Rethem entfernte Frankenfelder Holz, wo er endlich in den Bäumen hängen bleibt.

Sobald die Gondel sich der Erde nähert, springen die halbwegs noch Gesunden heraus. Die Frau Nadars verwickelt sich dabei und wird von dem gegen 25 Zentner schweren Waggon bedeckt. Mehr als eine halbe Stunde verging, bis es gelang, die unglückliche Frau unter der entsetzlichen Last hervorzuholen. Ungeschädigt hatte keiner der Gesellschaft die Fahrt mitgemacht, einige waren ganz bedenklich verwundet, Frau Nadar hatte außer den schlimmsten Quetschungen auch noch den Bruch des Schlüsselbeins zu beklagen, einer hatte den Arm gebrochen, Nadar selbst war auf die verschiedenartigste Weise blessiert (Fig. 128).

Durnofs Schiffbruch. Viele der Unglücksfälle wären sicher zu vermeiden gewesen, wenn die Luftschiffer alle Vorsichtsmaßregeln befolgt hätten. Allein die Gewohnheit stumpft ab gegen den Gedanken einer Gefahr, und bei denjenigen Aëronauten, welche ihre Auffsteigungen zu Schaustellungen machen, bewirkt leicht ein falscher Ehrgeiz, unter gefahrdrohenden Umständen die Fahrt zu unternehmen — nur, damit das versammelte Publikum nicht an dem Mute des Schauspielers zweifle. Diesem eitlen Gefühle wären zwei kühne Luftschiffer beinahe zum Opfer gefallen, die nur durch ein glückliches Ungefähr noch gerettet wurden.

Duruof, der sich in Frankreich durch mehrere Ascensionen bereits einen Namen gemacht hatte, wollte zu Calais aufsteigen, als unglückliche Umstände das Unternehmen wiederholt vereitelten. Das bei einer solchen Schaustellung versammelte Publikum fing an, sich in beleidigenden Ausdrücken zu ergehen, als verlautete, daß die Füllung des Ballons auch heute wahrscheinlich die Fahrt nicht gestatten würde. Duruof, der seine Ehre engagiert sah, beschloß trotz der mangelhaften Füllung, der Versammlung zu zeigen, daß Mangel an Mut ihm nicht zum Vorwurf gemacht werden könne, und seine junge Frau bestand darauf, ihn zu begleiten. Es war am 31. August 1873 abends gegen 7 Uhr, als der Ballon sich erhob und von der Luftströmung sofort nach der Nordsee zu getrieben wurde, aber die gekränkten Luftschiffer verschmähten herabzusteigen. „Tricolore“ hieß das Fahrzeug, mit welchem sie unter so Unglück verheißenden Umständen die Nacht durch in der Luft bleiben wollten. Es faßte nicht mehr als 800 cbm. Sie führten ihre Vornahme auch aus — mit was für Empfindungen, mögen sich die Leser selbst sagen. Als der Morgen graute, sahen sie sich in mäßiger Höhe über dem endlosen Wasserspiegel schweben. Wo sie sich befanden, wohin die Lüfte sie trügen, davon wußten sie nichts; die Kraft des ohnehin schwachen Ballons hatte während der langen Zeit nachgelassen, und es war zu berechnen, wie lange es noch dauern

könne, bis sie auf den Wasserspiegel allmählich herabgesunken sein würden. Wenn bis dahin nicht ein Schiff sie bemerkte und sie aufnahm, waren sie rettungslos verloren. Endlich bemerkte man einige Fahrzeuge, man gibt Zeichen, aber es währte lange, ehe die Luftreisenden erkennen konnten, daß sie beobachtet würden. Angstvolle Spannung, ob man ihre Notsignale verstanden. — Duruof entschließt sich, ganz auf den Wasserspiegel hinunter zu gehen, ein freiwilliger Schiffbruch, dessen Schrecken sofort beginnen. Die Gondel schöpft Wasser — Frau Duruof, von Kälte und Angst halbtodt, vermag sich nicht mehr zu halten. Ihr Gatte umfaßt sie mit dem einen Arme, mit dem andern greift er in die Seile des Ballons, der von dem Winde über die Oberfläche der See gejagt wird. Zwar ist von den Schiffen ein Boot herabgelassen worden, um ihnen zu Hilfe zu kommen, allein die Entfernung ist groß und dem Winde ist kein Widerstand entgegenzusetzen. Ob die Hilfe sie erreichen wird? Die Wellen schlagen gegen den mattgewordenen Ballon und drohen ihn in Stücke zu reißen — auf seiner Widerstandskraft beruht aber für die Unglücklichen die einzige Möglichkeit, sich über Wasser zu halten. Da nähert sich endlich das Boot, aber die Gefahr wendet sich jetzt auch gegen die Retter. Der noch nicht völlig entleerte Ballon droht das Boot umzureißen; endlich gelingt es, die leblose Frau zu bergen und auch Duruof kann eingeholt werden; die „Grand-Charge", ein englisches Fahrzeug, nimmt bald darauf diejenigen auf, welche lange qualvolle Stunden hindurch den Tod immer näher an sich herankommen gesehen hatten. — So viel Teilnahme wir aber in diesem Falle auch den Betroffenen zuwenden, wir werden nicht ganz den Vorwurf ihnen ersparen können, daß sie selbst sich leichtsinnig in die Gefahr begaben, und wir werden nicht der Aëronautik einen Unfall aufbürden, der von ruhigen Menschen vermieden werden mußte. Anders ist es mit der

Katastrophe von Crocé-Spinelli und Sivel, zwei Luftschiffer, von denen der letzgenannte als Führer zahlreicher Luftfahrten auch in Deutschland sich den Ruf eines kenntnisreichen und umsichtigen Aëronauten erworben hat, dem vielleicht auch manche unsrer Leser den unvergleichlichen Genuß einer Luftschiffahrt verdanken.

Der Krieg von 1870/71 hatte in Paris die Aufmerksamkeit wieder in erhöhtem Maße der Luftschiffahrt zugewandt. Unter denjenigen, welche systematische Auffsteigungen unternahmen, um die höheren Luftschichten und die zweckmäßigste Art ihrer Befahrung zu untersuchen, hatten namentlich die Gebrüder Tissandier und der Ingenieur Crocé-Spinelli sich einen Namen gemacht. Mit ihnen im Verein waren bereits mehrere Auffsteigungen von Paris aus unternommen worden, welche des wissenschaftlichen Interesses wegen, dem sie dienten, von dem Unterrichtsministerium und mehreren gelehrten Gesellschaften unterstützt worden waren. Bei einer derselben am 22. März 1874 war die bedeutende Höhe von 7400 m erreicht worden. Die Resultate, welche man zurückbrachte und die sich namentlich erstreckten auf die spektroskopischen Linien, den Kohlensäuregehalt der höheren Luftschichten, sowie auf das Vorhandensein eines warmen Luftstromes aus Südwest, der in einer Höhe von 6000 m und in einer senkrechten Mächtigkeit von 600 m fließen sollte; diese und andre Beobachtungen sollten verifiziert werden.

Zu diesem Behufe hatte man eine vollständige Ausrüstung mit allen möglichen Beobachtungsapparaten für den Sivel gehörigen Ballon „Zénith" zusammengebracht und ganz besonders sein Augenmerk auch auf die Mitnahme von reinem Sauerstoffgas gerichtet, um durch seine Einatmung der Gefahr, die aus der verminderten Sauerstoffzufuhr in der höheren dünnen Luft entstehen könnte, entgegenzuarbeiten.

Die Auffahrt geschah am 15. April 1875 mittags 12 Uhr 25 Minuten von der Pariser Gasanstalt La Villette aus. Gegen 1 Uhr hatte der „Zénith" bereits die Höhe von 5000 m erreicht und die Luftschiffer begannen ihre physikalischen Arbeiten. Die Temperatur im Innern des Ballons betrug 20°, die äußere Luft hatte dagegen nur — 5°. Crocé-Spinelli war mit spektroskopischen Untersuchungen beschäftigt — Sivel dirigierte die Fahrt — alle waren heiter. Es wurde Ballast ausgeworfen und der Ballon stieg immer höher; hier schon konnte man den günstigen Einfluß bemerken, welchen das Einatmen des mitgenommenen Sauerstoffgases hervorbrachte. Um 1 Uhr 25 Minuten befand man sich in einer Höhe von 7000 m, die äußere Temperatur betrug — 10°. Von hier ab folgen wir der Schilderung, wie sie der überlebende Gaston Tissandier in einem Briefe an den Präsidenten der französischen Gesellschaft für Luftschiffahrt gibt.

„Sivel und Crocé sehen sehr blaß aus“, schreibt er, seine Aufzeichnungen während der Fahrt anführend, „und ich fühle mich schwach. Ich atme Sauerstoff ein, welches mich etwas belebt. Wir steigen immer höher. Sivel wendet sich zu mir und sagt mir: „Wir haben noch viel Ballast — soll ich auswerfen?“ Ich antworte ihm: „Wie Sie wollen.“ Er macht dieselbe Frage an Crocé, der durch Nicken mit dem Kopfe seine Zustimmung gibt. In der Gondel hatten wir wenigstens noch fünf Säcke mit Ballast und außen waren vier mit Stricken befestigt. Sivel zieht sein Messer und durchschneidet die Befestigung dreier Säcke — ihr Inhalt fließt aus und wir steigen plötzlich mit rapider Schnelligkeit in die Höhe. Ich fühle mich sofort so schwach, daß ich nicht den Kopf wenden konnte, um nach meinen Gefährten zu sehen. Ich will die Röhre nehmen, um Sauerstoff einzuatmen, allein es ist mir unmöglich, den Arm zu erheben. Mein Kopf war noch klar, ich hatte die Augen auf das Barometer gerichtet und sehe die Nadel weichen von der Ziffer 290 auf 280, welche sie auch passiert. Ich will schreien: „Wir sind 8000 m“, aber meine Zunge ist wie gelähmt, gleichzeitig fallen mir die Augen zu, ich falle in Ohnmacht und verliere vollständig das Bewußtsein . . .

„Es war ungefähr 1 Uhr 38 Minuten. 2 Uhr 8 Minuten erwache ich für einen Moment. Der Ballon fällt mit großer Geschwindigkeit; ich hatte vermocht, einen Sack Ballast zu öffnen, um die Geschwindigkeit zu mäßigen, und schrieb in mein Register folgende Zeilen: „Wir gehen hinab; Temperatur — 8°; ich werfe Ballast; H 315; Sivel und Crocé noch bewußtlos auf dem Boden der Gondel. Wir fallen sehr rasch.“

„Kaum hatte ich dies niedergeschrieben, als ein eigentümliches Zittern mich überkam und ich wieder in Ohnmacht sank. Ich fühlte einen starken Luftzug, der das schnelle Fallen anzeigte. Einige Minuten darauf wurde ich am Arme geschüttelt, und ich erkannte Crocé, welcher wieder zu sich gekommen war. „Werfen Sie Ballast aus!“ rief er mir zu, „wir fallen!“ Aber kaum vermochte ich die Augen zu öffnen, und ich habe nicht gesehen, ob Sivel erwacht war. Ich erinnere mich, daß Crocé den Atmungsapparat, Ballast, Decken u. dergl. über Bord warf. — Alles dieses ist in meiner Erinnerung sehr dunkel, der Eindruck vollzog sich zu rasch, denn ich fiel zurück in Ohnmacht, mehr noch als das erste Mal, und es schien mir, als ob ich in den ewigen Schlaf einginge.

„Was ist während dieser Zeit geschehen? Ich vermute, daß der entlastete Ballon, luftdicht wie er war und sehr warm, noch einmal in die hohen Regionen emporstieg. Um 3 Uhr 15 Minuten schlug ich die Augen wieder auf, ich fühlte mich erschöpft, wie zerschlagen, aber mein Geist erholte sich wieder. Der Ballon ging mit einer schreckenerregenden Schnelligkeit hinab, die Gondel schwankt gewaltig und beschreibt große Schwingungen. Ich werfe mich auf die Kniee und rüttele Sivel und Crocé an den Armen. „Sivel, Crocé!“ — rufe ich — „wachen Sie auf!“

„Aber meine beiden Gefährten lagen zusammengekauert in der Gondel, die Köpfe in die Mäntel verborgen. Ich nehme meine Kräfte zusammen und versuche sie zu erheben. Sivel war schwarz im Gesicht, die Augen erloschen, der Mund offen und voller Blut; Crocé-Spinelli hatte die Augen geschlossen und ebenfalls Blut im Munde. — Zu schildern, was sich hierauf begab, ist unmöglich. Ich fühlte wieder den fürchterlichen Luftstrom von unten nach oben, wir waren noch in einer Höhe von 6000 m; zwei Säcke Ballast, die sich noch in der Gondel befanden, warf ich aus — die Erde kommt uns sichtlich entgegen; ich will mein Messer ziehen, um den Anker loszumachen — ich kann es nicht finden, wie wahnsinnig werdend, rufe ich fortwährend:

„Sivel, Sivel“, da finde ich zum Glück ein Messer und kann im letzten Augenblick den Anker lösen. Der Anprall auf die Erde war fürchterlich, der Ballon schien sich förmlich breit zu drücken, und ich glaubte, er würde auf dem Platze bleiben. Aber der Wind ist heftig und führt ihn mit fort. Der Anker faßt nicht und die Gondel wird über die Felder geschleift, und ich fürchte schon, die Leichen meiner unglücklichen Freunde herausfallen zu sehen. Indessen gelingt es mir, das Ventil zu öffnen. Der Ballon entleert sich, als er von einem Baume zerrissen wird. Es war 4 Uhr.“

Soweit die unmittelbare Schilderung Tissandiers.

Die beiden Verunglückten wurden am 20. April unter allseitiger Teilnahme mit großen Ehren auf der protestantischen Abteilung des Père la Chaise beerdigt.

Gefesselte Ballons. Um die Erhebung in einem Luftballon zu ermöglichen, ohne denselben dem Spiel der Winde preiszugeben, hat man die Ballons gefesselt, d. h. sie an Seile gebunden, so daß sie, gewissermaßen vor Anker liegend, nur so viel Spielraum haben, als die Länge und das Gewicht des Seiles hergibt. Mit solchen an Seilen gehaltenen Ballons waren während der Pariser Ausstellung 1867 Sonntags große Schaustellungen veranstaltet. In der Nähe des Marsfeldes hatte ein spekulativer Unternehmer einen großen Platz gemietet, auf welchem Tribünen aufgeschlagen waren, um die Vorbereitungen für das Aufsteigen eines sogenannten Ballon captif beobachten zu können. Gegen Entrichtung von 50 Frank oder so etwas war die Mitfahrt gestattet. Der Ballon erhob sich, an einem Seile gehalten, so weit das Gewicht des letzteren das Aufsteigen gestattete, und der Hauptreiz für die Passagiere war der Genuß der Aussicht über die Stadt von ihrem grundlosen Standpunkte. Fig. 130 zeigt die Art der Befestigung eines solchen Ballons, wie deren späterhin viele konstruiert und dem Publikum zur Befriedigung ihrer Neugierde nach dem Leben in den höheren Schichten zur Verfügung gestellt worden sind.

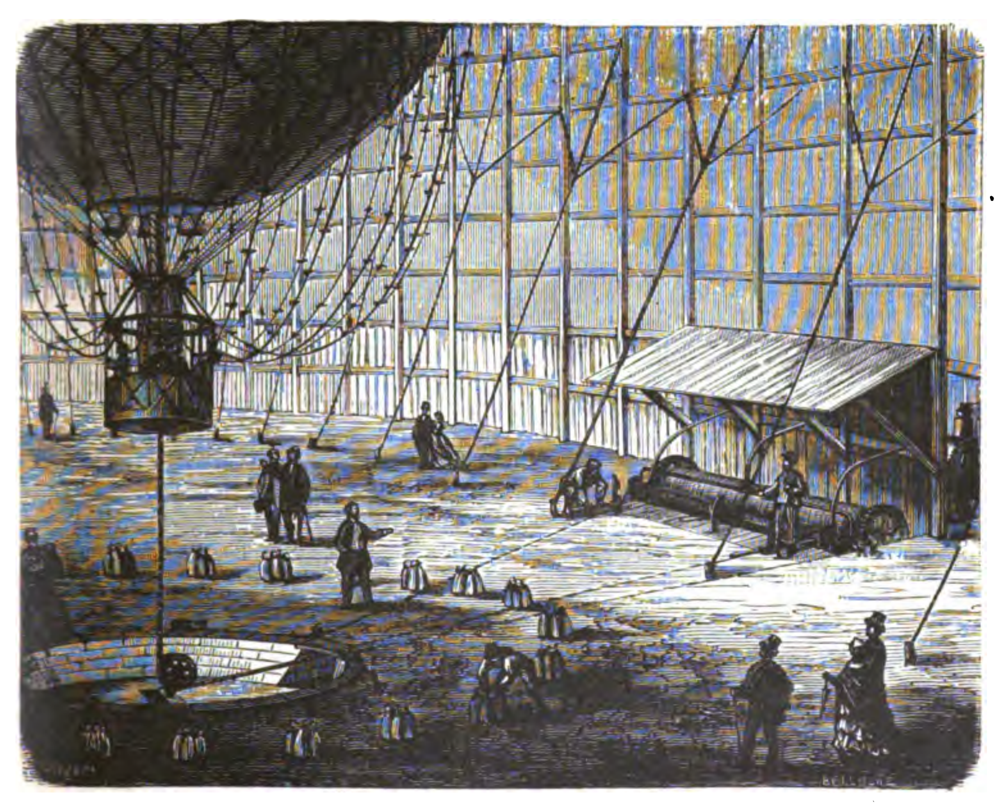


Fig. 130. Der Ballon captif, konstruiert von Giffard im Jahre 1867 in Paris.

In London ließ man 1869 einen gefesselten Ballon aufsteigen. Er bildete eine Kugel von 37 m Höhe und 12000 cbm Rauminhalt. Das Kabel, an welchem er befestigt war, war 650 m lang und wurde auf einer eisernen Spindel mittels einer Dampfmaschine aufgewickelt, wenn der Ballon „zu Hause“ war. Der Stoff des Ballons bestand aus zwei Lagen Leinwand, welche durch Kautschukkitt miteinander verbunden und mit einem Musselingewebe überzogen waren, das ebenfalls noch besonders mit Kautschukauflösung getränkt war; man hatte solche Sorgfalt auf die Dichtung verwendet, weil der Ballon mit reinem Wasserstoffgase gefüllt werden sollte. Die Stoffhülle des Ballons wog circa 2800 kg und bedeckte, auseinander gelegt, 2500 qm. Der Fall, daß das Kabel zerriß, kam bei diesem Ballon übrigens infolge einer Unvorsichtigkeit der Maschinisten auch einmal vor; glücklicherweise befand sich niemand in der Gondel, dem die pfeilschnelle Auffahrt hätte gefährlich werden

können; der Ballon ging infolge des Gasverlustes in einer Entfernung von wenig Meilen wieder nieder und wurde glücklich wieder eingefangen. Der für die Wiener Weltausstellung 1873 angefertigte Ballon captif hatte ein unglücklicheres Schicksal — ein Sturm entführte ihn vor seiner Einweihung und die ungarischen Bauern, welche den niedergegangenen Flüchtling auffanden, richteten ihn völlig zu Grunde.

Gelegentlich der Pariser Weltausstellung von 1878 war von Giffard, welcher schon den Ballon captif von 1867 gebaut hatte, ein Riesenapparat solcher Art, der aus dem Hofe der Tuilerien sich erhob, hergestellt worden. Von diesem Ballon aus werden sich gewiß manche unsrer Leser damals den interessanten Anblick, welchen das Straßengewirr einer großen Stadt wie Paris aus einer Höhe von 500—600 m gewähren kann, verschafft haben. Der Ballon bestand zunächst aus einer Schicht von zwei Musselinlagen, welche zwei Lagen eines feinen dichten Leinengewebes einschlossen. Diese vier Gewebschichten waren wieder durch Lagen von Kautschuk voneinander getrennt.

Es entstand hierdurch eine siebenfache Haut, welche nach der Füllung eine vollkommene Kugelgestalt von 36 m im Durchmesser annahm.

Die Oberfläche des Ganzen war mit einem Leinölfirnis überzogen und mit einem Zinkweißanstrich versehen, durch den sie ein merkwürdig metallisches Aussehen erlangte. Das Gewicht eines Quadratmeters dieses Stoffes betrug 1 kg, das Gesamtgewicht 1230 kg. Das Seilwerk dagegen hatte ein Gewicht von beinahe 8000 kg. Die Kosten seiner Herstellung hatten sich auf mehr als 60000 Frank belaufen. Die für 50 Personen eingerichtete Gondel hatte ein Gewicht von 1800 kg. Dem Seile hatte man eine nach unten zu konisch verlaufende Form gegeben; der stärkere Durchmesser seines obersten Endes betrug 8½ cm und der schwächere seines untersten Endes nur 6½ cm. Man hatte diese Form aus gutem Grunde gewählt. Sollte nämlich ja ein Bruch eintreten, so mußte dieser nahe der Erde stattfinden und es verblieb den unfreiwilligen Luftfahrern dann ein als Anker wirkendes langes Leitseil. Übrigens wäre ein Reißen nur im Falle eines Orkanes möglich gewesen und dann hätte auch sicherlich ein Aufsteigen nicht stattfinden können. Die ganze Ausstattung des Ballons war schön und zweckmäßig gehalten und derselbe ist denn auch von Tausenden benutzt worden, welchen er einen eigenartigen Genuß gewährte.

Wissenschaftliche Luftfahrten. Wenn nun aber auch die Vorteile, welche die Luftschiffahrt gebracht hat, nicht so groß sind, als man in der Kindheit derselben erwartete, so ist doch namentlich die physische Geographie der hauptsächlich unter den Franzosen mächtigen Neigung, sich in die Lüfte zu erheben, einigen Dank schuldig für die Beantwortung von Fragen, welche nicht wohl anders Erledigung finden konnten, als durch Anstellung von geregelten Versuchen in verschiedenen Höhen des Luftkreises. Wir kehren daher mit einigen Worten zurück zu den wichtigsten der zu Zwecken der Wissenschaft veranstalteten Unternehmungen dieser Art, von denen diejenige, welche Biot und Gay-Lussac unternommen haben, die bedeutendste ist.

Luftreise von Gay-Lussac und Biot. Robertson und sein Landsmann L'Holst hatten 1803, als sie am 18. Juli in Hamburg aufgestiegen waren, die größte Höhe erreicht, bis zu welcher damals Luftschiffer gedrungen waren. Nach ihrer Berechnung hatten sie sich 7400 m oder mehr als 24000 Fuß über den Erdboden erhoben, und sie glaubten aus ihren Beobachtungen unter anderm schließen zu können, daß entsprechend mit der größeren Höhe die Intensität der Wirkungen des Erdmagnetismus sich abschwäche, ebenso daß die elektrischen Erscheinungen merkwürdigen Abweichungen unterlägen. Als nun auch von Petersburg, wohin Robertson gegangen war und wo er in Gemeinschaft mit einem russischen Gelehrten Saccharoff eine Wiederholung seiner Versuche vornahm, über das früher von ihm Behauptete bestätigende Berichte nach Paris kamen, beantragte Laplace bei der Französischen Akademie eine strenge Untersuchung der betreffenden Fragen durch eine auszurüstende naturwissenschaftliche Expedition in das Reich der Lüfte.

Die Physiker Biot und Gay-Lussac, zwei der jüngsten und bedeutendsten Mitglieder, wurden gewählt und mit Instruktionen und den ausgezeichnetsten Instrumenten reichlich versehen. Am 20. August 1804 erhoben sie sich in dem Garten des Conservatoire des arts et métiers. Aus ihren mit großer Sorgfalt vorgenommenen Untersuchungen glaubten sie schließen zu dürfen, daß die Intensität der erdmagnetischen Kraft mit der

steigenden Höhe nicht schwächer werde. Bei 4000 m (13000 Fuß) Höhe stimmten die Schwingungen der Magnetnadel in Geschwindigkeit und Ausschlag genau mit den Schwingungen an der Oberfläche der Erde überein, und die Robertsonsche Behauptung erwies sich als ein Irrtum, zu welchem allerdings die großen Beobachtungsschwierigkeiten leicht Veranlassung werden konnten, denn der Ballon bietet keinen ruhigen Stand. Nicht nur, daß er fortwährend entweder steigt oder fällt, daß er durch den leisesten Luftstrom weiter getragen wird, gerät derselbe auch noch in eine sehr merkwürdige Rotation um sich selbst,



Fig. 181. Gay-Lussac und Biot in der Gondel des Luftballons.

die er bald nach der einen, bald nach der andern Richtung ausführt. Ist diese auch nicht so rasch, so werden dadurch doch die Schwingungen der Magnetnadel beeinflußt, und um eine genaue Beobachtung zu machen, muß allemal der Zeitpunkt abgepaßt werden, wo die eine Drehung des Ballons in die andre übergeht und wo ein Moment des Stillstands eintritt. Freilich ist zu bemerken, daß dieselben Schwierigkeiten, welche für Robertson bestanden, auch die Beobachtungen Gay-Lussacs und Biots beeinflußten. Bei Barometerbeobachtungen ist zu berücksichtigen, daß, wenn der Ballon hinabgeht, die Quecksilbersäule etwas zu hoch in der Röhre stehen bleibt; wenn er rasch steigt, bleibt sie dagegen etwas

zurück. Die Luftschiffer können aber ihre eigne Bewegung nicht an benachbarten Gegenständen erkennen; sie werfen daher, um sich darüber zu unterrichten, kleine Papierschnitzel aus. Verschwinden dieselben rasch in die Tiefe, so steigt der Ballon; ziehen sie aber neben demselben in die Höhe, so fällt er selbst, und nach der Geschwindigkeit der kleinen Merkzeichen läßt sich die Schnelligkeit der eignen Bewegung bemessen.

Gay-Lussac und Biot bestätigten ferner, gleichfalls den Robertsonschen Wahrnehmungen entgegen, daß die Wirkungen der Voltaschen Säule und der Elektrisiermaschine durch die größere Höhe keine Veränderung erlitten, und brachten außerdem wertvolle Aufschlüsse über die hygrometrischen (Feuchtigkeits-) und thermometrischen Verhältnisse der höheren Luftschichten mit zurück.

Um eine noch bedeutendere Höhe als diesmal, überhaupt die größtmögliche Höhe zu erreichen, wurde gleich nach dem ersten Aufsteigen ein zweites unternommen, welches der geringen Belastung des Ballons wegen Gay-Lussac allein ausführte. Er stieg bei dieser Gelegenheit gegen 9000 m hoch und erlangte damit den Ruhm, bis dahin sich unter allen am weitesten vom Erdmittelpunkte entfernt zu haben. Die Resultate dieser neuen Aszension stimmten in allem mit den früher gemeinschaftlich mit Biot gemachten Beobachtungen überein. Luft, welche in den entferntesten Regionen gesammelt und in wohlverschlossenen Flaschen mit herabgebracht worden war, erwies sich bei der Analyse vollkommen übereinstimmend in ihrer chemischen Zusammensetzung mit der Luft, welche wir auf der Erdoberfläche einatmen.

Außer dieser Biot-Gay-Lussacschen Luftfahrt haben nur wenige einen nennenswerten wissenschaftlichen Erfolg gehabt. In England fanden seit den fünfziger Jahren von Zeit zu Zeit wissenschaftliche Aufsteigungen statt, und namentlich sind die Unternehmungen von J. Welsh (1852 mit Green) und von Glaisher (1862 und 1863 in Coxwells Ballon) zu nennen. Der letztere erreichte dabei am 5. September 1862 eine Höhe von ungefähr 11000 m, freilich verlor er wie Coxwell dabei das Bewußtsein, so daß sich die Ermittelung dieses Resultats nur auf Berechnungen stützen konnte, die aber eine große Wahrscheinlichkeit für sich haben, und durch seine Beobachtungen wurde die alte Annahme, daß man bei je 90 m Erhebung eine Temperaturerniedrigung um 1 Grad mehr finde, ganz erschüttert. Denn es ergab sich, daß bei heiterem Wetter eine solche Abnahme schon bei 30 m Erhebung (nahe dem Erdboden) eintritt; während dagegen fast 600 m weitere Steigung nötig sind, um in einer Höhe von 9150 m und mehr das Thermometer um 1 Grad herabzustimmen. Zwischen den Grenzen aber von 30 und 600 m oder von dem Erdboden bis zu 9150 m Erhebung schien die Verschiedenheit der Abnahme in einem ganz stetigen Verhältnis stattzufinden. Zahlreiche andre Beobachtungen, namentlich die 1878 zu Paris gemachten, haben aber wieder ganz andre Resultate ergeben.

Das Vorhandensein eines warmen Luftstromes, der sich in einer Mächtigkeit von gegen 600 m aus Südwesten bewegte und daher wohl in Übereinstimmung mit dem Golfstrom des Meeres gebracht werden darf, bestätigte Glaisher ebenfalls. Der Feuchtigkeitszustand der verschiedenen Luftschichten wechselte sehr häufig. „Ich bin über 7000 m hinaus gelangt, ohne die Sonne erblickt zu haben, und selbst bei meinen höchsten Aufsteigungen habe ich noch allezeit Wolken weit, weit über meinem Haupte dahinziehen sehen“ — in so großer Erhebung über der festen Erdoberfläche also bildet der sich verdichtende Wasserdampf noch Nebel und Wolken. Diese Beobachtung ist wertvoll, da die Messung der Wolkenhöhen auf sonst übliche Weisen mit den ärgsten Fehlerquellen behaftet ist, so daß wir sichere und unter sich kontrollierbare Angaben damit nicht erlangen können.

Aus Glaishers Beobachtungen scheint ferner hervorzugehen, daß die Winde der oberen Regionen in beständigerer und zugleich rascherer Strömung begriffen sind als diejenigen Winde, welche auf der Fläche herrschen, wo Luft und Wasser sich scheiden.

Von ganz besonderem Interesse sind die physiologischen Beobachtungen, welche der englische Forscher auf seinen Luftfahrten gemacht hat. Die Zahl der Pulsschläge nimmt ebenso wie die der Atemzüge in größeren Höhen zu. Zeigte sein Puls auf der Erdoberfläche bei der Abfahrt 76 Schläge in der Minute, so stieg die Anzahl derselben auf 90 in Höhen von 3000 m, auf 100 bei 6000 m und endlich darüber hinaus bis auf 110; doch sind diese Zahlen selbstverständlich individueller Natur wie auch die andern Veränderungen, die sich in dem körperlichen Befinden beim Verweilen in höheren Regionen einstellen, und

unter denen das allmähliche Verschwinden der Gesichtsfarbe am meisten geeignet ist, demjenigen, der dies Phänomen zuerst beobachtet, Besorgnisse einzuflößen. „Bei 17000 Fuß (5000 m)“, schreibt Glaisher, „wurden meine Lippen blau, bei 19000 Fuß vertiefte sich dieses Blau ins Schwärzliche und breitete sich auch über die Hände aus. In einer Höhe von 4 englischen Meilen klopfte mein Herz hörbar, der Atem war flach und matt, bis mich bei 29000 Fuß das Bewußtsein verließ.“

Dies sind die hauptsächlichsten Ergebnisse, zu denen die Luftschiffahrt in wissenschaftlicher Beziehung geführt hat. Sie sind seitdem im wesentlichen durch Neues nicht vermehrt worden, obwohl von französischer Seite zahlreiche Auffahrten veranstaltet worden sind, denen man einen wissenschaftlichen Charakter gab und an denen sich auch Gelehrte wie Flammarion u. a. beteiligten.

Nächst dem nicht hoch genug anzuschlagenden landschaftlichen Interesse, wenn das Wort hier anzuwenden erlaubt ist, wird also der Luftballon seine Bedeutung vorzugsweise als Vehikel für den Transport von Menschen und Depeschen für solche Fälle zu erhöhen suchen müssen, wo andre Hilfsmittel der Fortbewegung nicht angewandt werden können. Immerhin wird er nur ein Notbehelf bleiben, aber da die Fälle, in denen man zu ihm seine Zuflucht nehmen muß, sehr ernster Natur sein können, so ist es erklärlich, daß man neuerdings sich mit seiner Technik eingehender beschäftigt hat und vor allem die Gefahren zu erkennen und zu vermindern sucht, denen die darin Befindlichen ausgesetzt sind.

Die Gefahren für den Luftschiffer bestehen hauptsächlich, wenigstens der Zahl nach, in den Zufällen, die ihn bei der Abreise oder bei der Landung betreffen können. — Wir meinen nicht die Unglücksfälle einer unfreiwilligen Landung, eines Sturzes, sondern diejenigen, welche dadurch herbeigeführt werden können, daß der Luftschiffer, vom Winde getrieben, nicht mit Sicherheit den Ort der Herabkunft bestimmen kann und Gefahr läuft, mit seinem Fahrzeug an gegenstehende Häuser, Bäume u. dergl. geschleudert zu werden, daß bei starken Luftströmungen der Anker in dem Boden nicht genügenden Widerstand findet und der halbentleerte Ballon von der Gewalt des Sturmes über den Boden getrieben wird. Bei jedem Auftreffen der schweren Gondel erhält der dadurch erleichterte Ballon einen neuen Auftrieb, und die Folge davon ist, daß das ganze Fahrzeug in rasenden Sätzen über die Oberfläche gejagt wird und erst zur Ruhe kommt, wenn die Steigkraft des Ballons geschwunden und der Wind allein das beträchtliche Gewicht nicht mehr bewältigen kann. Dieses „Springen“ des Ballons gehört zu den bedenklichsten Erscheinungen, denn man kann sich gegen dasselbe kaum schützen, obwohl ein erfahrener Luftschiffer auch schon den Ankerplatz mit ziemlicher Sicherheit auswählen kann und hierdurch ein Mittel in der Hand hat, die Landung auch bei ungünstigem Wetter ohne jede wirkliche Gefahr zu bewerkstelligen.

In der Höhe sind die Verhältnisse dem Luftschiffer viel günstiger als sie es auf der Erde oder auf dem Wasser dem Reisenden sind. Als ein Teil der umgebenden Luftmasse bewegt sich der Ballon weiter, keinerlei gewaltsamen Angriffen ausgesetzt, und die Reisenden merken selbst von dem heftigsten Sturme nichts, denn sie sind eben selbst der Sturm mit, und obwohl sie sich vielleicht mit rasender Geschwindigkeit vorwärts bewegen, so spüren sie doch kein Lüftchen. Das Auf- und Hinabsteigen erfolgt durch Auswerfen von Ballast, beziehentlich durch Entweichenlassen von Gas, und da eine Handvoll Sand schon ihre Wirkung äußert, so läßt sich jeder Übergang ganz allmählich bewirken. Freilich muß der Apparat des Ventils gut funktionieren, der Ballon immer hinreichende Steigkraft haben und genügender Ballast an Bord sein. In der Erhaltung dieser Vorbedingungen besteht daher auch die Hauptsorge des Luftschiffers. Daneben muß derselbe sein Augenmerk auf die Richtung der Fahrt lenken, damit er nicht in Gegenden verschlagen wird, in die zu gelangen nicht in seiner Absicht liegt. Deswegen sind nächtliche Fahrten, besonders in der Nähe des Meeres, nicht immer ganz unbedenklich, wenn die Luft nicht eine solche ist, daß sie trotz der Dunkelheit noch ein Orientieren auf der Erde gestattet. Allerdings liegt das Innehalten einer bestimmten Richtung überhaupt nur in beschränkter Weise in der Hand des Luftschiffers, soweit sich nämlich Luftströmungen auffinden lassen, die nach der betreffenden Stelle der Windrose zufließen. Gibt es solche nicht, so ist der vorher entworfene Reiseplan auch ohne allen Einfluß auf die Ausführung, und von vornherein kann niemals ein Aëronaut den Punkt bestimmen, an welchem er mit seinem Ballon wieder zur Erde kommen will.

Wir haben gesagt, daß in der Höhe für das Luftschiff die Gefahren sehr unbedeutende sind. Das ist richtig, immerhin aber gibt es Möglichkeiten, welche die Lage des Fahrzeuges und seiner Insassen kritisch machen können, und denen zu begegnen es der ganzen Umsicht bedarf, welche nur das Resultat reicher Erfahrung zu sein pflegt. So kann durch plötzliche Bestrahlung des Ballons von der Sonne und durch die damit verbundene Temperaturerhöhung eine so rasche Ausdehnung des Gases im Innern stattfinden, daß die Hülle in Gefahr kommt, gesprengt zu werden. Derselbe Fall kann schon durch sehr plötzliches Auffsteigen in dünnere Luftschichten eintreten, weil dadurch der Druck auf den Ballon, der der Expansion des eingeschlossenen Gases entgegenwirkt, verringert wird, dieses sich infolgedessen plötzlich erheblich ausdehnt, wodurch, wenn dem Gase nicht durch den untern Schlauch oder durch das Ventil ein bequemer Ausweg geboten wird, die Hülle des Ballons gesprengt werden kann. Welche Gefahren aber das plötzliche Entweichen des Gases durch einen Riß mit sich führt, das braucht wohl nicht erst geschildert zu werden. Am 9. Dezember 1875 erst ereignete sich der Unfall, daß der Ballon „L'univers“, in welchem sich außer den Luftschiffern Godard und Alb. Tissandier noch sechs Passagiere befanden, welche von der Gasanstalt La Villette in Paris aufgestiegen waren, aus einer Höhe von 260 m, wahrscheinlich infolge einer Zerreißung der Hülle, herabstürzte und die in der Gondel Sitzenden alle mehr oder weniger beschädigt wurden.

Umgekehrt, wie durch plötzliche Erwärmung eine zu rasche Ausdehnung des Gasvolumens verursacht wird, kann eine rasche Abkühlung durch das Eintreten in eine kühle Luftschicht oder in den Wolkenschatten eine plötzliche Zusammenziehung bewirken, der Ballon wird spezifisch schwerer und, wenn nicht mehr hinreichender Ballast vorhanden ist, durch dessen Auswerfen man das auszugleichen vermag, so kann sich die Fallgeschwindigkeit auf höchst gefahrbringende Weise vergrößern. Ähnlich wie die Erniedrigung der Temperatur wirken oft die damit verbundenen atmosphärischen Niederschläge, welche auf der großen Oberfläche des Ballons sehr bald ein beträchtliches Gewicht repräsentieren können, und wenn dergleichen Zufälle zu einer Zeit eintreten, wo die Steigkraft des Ballons schon geschwächt ist, so können sie ebenfalls Veranlassung zu traurigen Katastrophen werden.

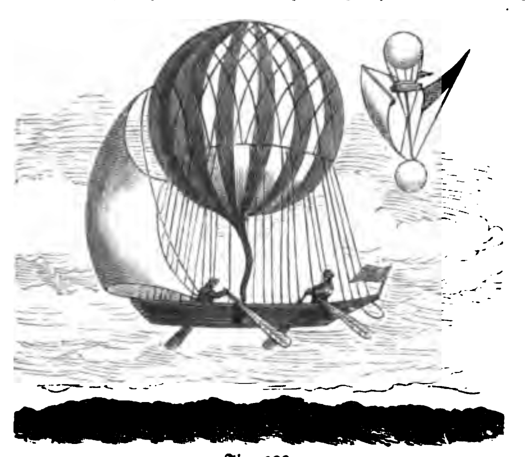


Fig. 132.
Anwendung von Segel und Ruder bei der Luftschiffahrt.

Trotz alledem aber — sobald man die unglücklichen Zufälle im voraus kennt, von denen man betroffen werden kann, ist ihre Gefährlichkeit schon fast beseitigt. Wie man sich in keinen Eisenbahnzug setzt, den nicht ein erfahrener Lokomotivführer leitet, so wird man sich auch keinem Luftballon anvertrauen, dessen Lenker nicht von seiner Tüchtigkeit bereits Proben abgelegt hat.

Lenkung des Luftballons. Man ging in früheren Zeiten von der Hoffnung aus, den Luftballon wie ein Schiff auf den Gewässern mit Hilfe von Rudern und Flügeln nach Willkür bewegen und dadurch lenken zu können. Alle Versuche und Vorrichtungen aber, die hierzu ausgeführt worden sind, haben keine günstigen Resultate ergeben.

Unsre Fig. 133 zeigt einen solchen vergeblichen Versuch, welcher am 25. April 1784 zu Dijon unternommen wurde.

Manche Beobachtungen schienen darauf hinzudeuten, daß es in der Luft allerhand verschieden gerichtete Strömungen übereinander gäbe, und man hoffte, daß es nur nötig sein würde, so weit aufzusteigen, bis man die passende Strömung erreicht habe, um dann mit Sicherheit einem bestimmten Ziele zueilen zu können. Ein vorausssteigender Probeballon sollte die Richtung der höheren Winde anzeigen und Segel und Ruder die Wirkung vervollständigen (s. Fig. 132).



Fig. 188. Luftschiffahrt zu Dijon.

Nun kann zwar nicht geleugnet werden, daß verschieden gerichtete Strömungen der Luft sehr häufig übereinander auftreten; der bekannte Luftschiffer Reichardt erzählte, daß er einstmals in Warschau aufgestiegen und von entgegengesetzten Strömungen in niederen und höheren Luftregionen dreimal um die Stadt herumgetrieben worden sei. Allein dieselben sind nur ausnahmsweise in so großer Anzahl vorhanden; in der Regel gibt es nur zwei herrschende stetige Strömungen übereinander, die in ihrer Richtung einander nahezu entgegengesetzt sind und also nur eine sehr beschränkte Benutzung gestatten. Die Praxis führte auch die Luftschiffer allmählich zur Erkenntnis, daß es mit einem Projekt der natürlichen Windrichtung nichts sei, und sie verfielen wieder auf Anwendung künstlicher Motoren.

Petin in Paris schlug ein Luftschiff vor, welches einer größeren Anzahl von Personen das Vergnügen einer gleichzeitigen Luftreise gewähren sollte. Vier große Ballons, jeder von 27 m Durchmesser, trugen ein Gerüst von 140 m Länge und 60 m Breite (siehe Fig. 136). Ein großer Teil dieses Raumes war durch stellbare schiefe Flächen eingenommen, von welchen der Erbauer eine lenkende Wirkung erwartete, die sich aber nur beim Auf- und Absteigen hätte äußern können. Petin wirkte so eifrig für sein Projekt, daß er wirklich die Mittel zusammenbrachte, sein Werk in ziemlich großem Maßstabe auszuführen.

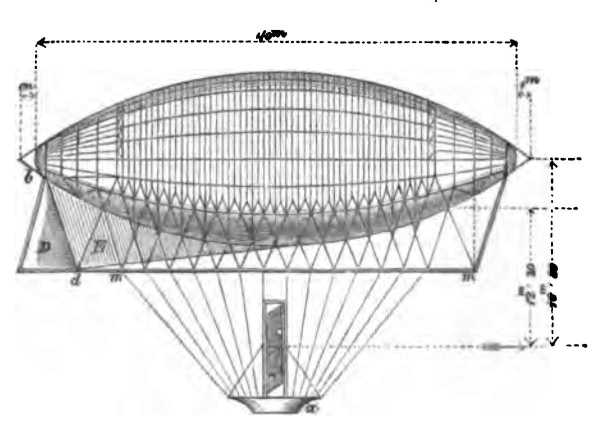


Fig. 134. Luftschiff von Dupuy de Lôme.

Die Behörden untersagten aber im Sinne aller Einsichtigen das Aufsteigen, und dieses Verkanntwerden trieb den Erfinder nach Amerika, wo indessen sein abenteuerlicher Plan ebenfalls keinen guten Boden gefunden zu haben scheint, denn man hat nichts wieder davon gehört.

Es würde sehr schwierig sein, alle die verschiedenen Erfindungen, welche in dieser Richtung gemacht worden sind und die alle ihrem Zwecke nicht entsprachen, aufzuführen.

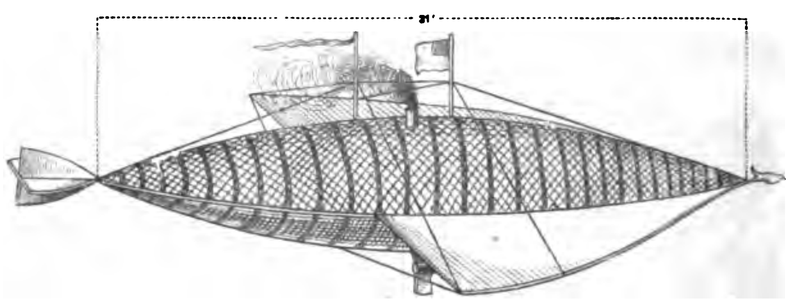


Fig. 135. Marions Luftschiff.

Der Todeskeim der meisten lag darin, daß sie an der Gondel angebracht waren und, da diese mit dem viel voluminöseren Ballon nur durch dünne Seile zusammenhing, die Kraft sich auf den Ballon gar nicht oder nur zum geringsten Teile übertragen ließ. Eine Steuervorrichtung, wenn sie je von Wirkung werden könnte, muß an dem Hauptkörper des Ballons angebracht sein. Der Natur der Sache nach aber wird jeder derartige Versuch eher dahin ausschlagen, den Ballon bloß um seine Achse zu drehen, als ihm dauernd eine bestimmte Richtung zu geben. Die Maschine des französischen Ingenieurs Giffard bestätigte dies. Es bestand diese in einem walzenförmigen Ballon mit Steuer und archimedischer Schraube, die von einer dreipferdigen Dampfmaschine getrieben wurde. Das erste und letzte

Aufsteigen erfolgte am 24. September 1852, und Giffard fand sich sehr befriedigt. Gegen den Wind zu fahren, sagte er, habe gar nicht in seinem Plane gelegen, aber er konnte mit Leichtigkeit seitwärts wenden und Kreise beschreiben.

Seiner Originalität halber erwähnen wir eines andern Vorschlags, dessen vor einigen Jahren selbst in wissenschaftlichen Zeitschriften Erwähnung gethan wurde. Bekanntlich läßt sich das Kohlensäuregas, welches man aus der Kreide durch Übergießen mit Salzsäure entwickeln kann, unter Umständen in feste Form bringen. Diese feste Kohlensäure hat aber dann ein ungemein großes Bestreben, sich in Dampf zu verwandeln. Sie verflüchtigt sich rascher als jeder andre Körper, und der Dampf zeigt eine sehr große Spannung.

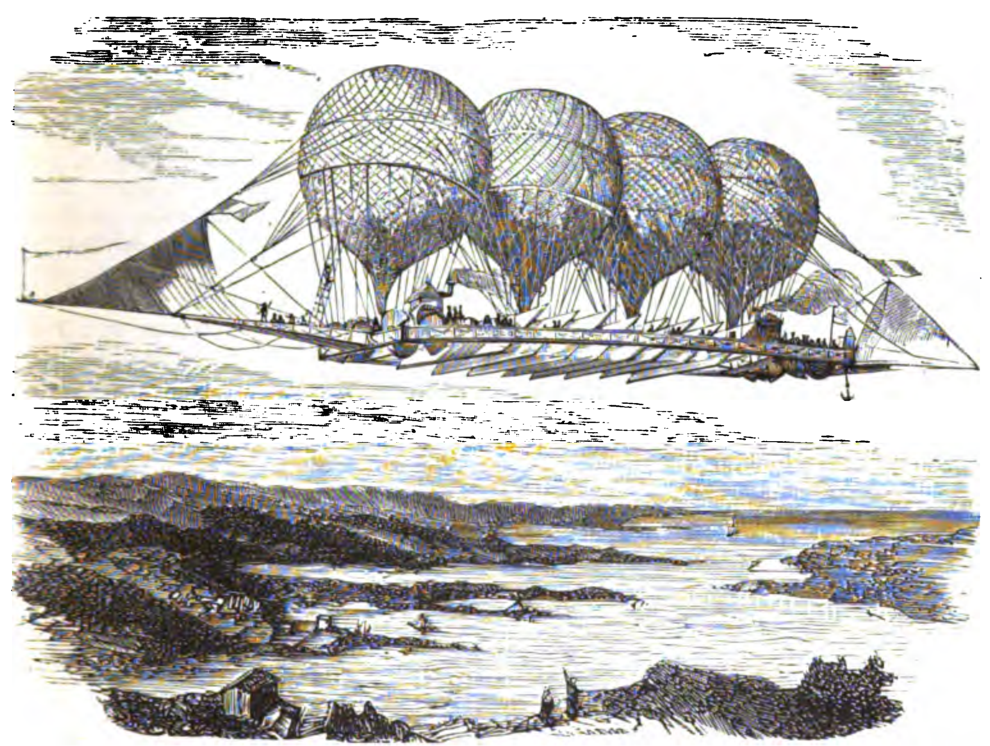


Fig. 136. Petins projektiertes Luftschiff.

Diese Eigentümlichkeit sollte nun in der Weise zur Lenkung der Aërostaten benutzt werden, daß eine hohle Metallkugel mit fester Kohlensäure an den Ballon befestigt wird. Wird dieselbe an einer Seite mit einer kleinen Durchbohrung versehen und letztere geöffnet, so strömt die gasförmige Kohlensäure mit großer Gewalt heraus und das Gefäß wird dadurch, wie eine Rakete durch das entströmende Pulvergas, nach der entgegengesetzten Seite getrieben. Zur Ausführung ist der Vorschlag wohl nicht gekommen, und er würde auch wahrscheinlich keinen besseren Erfolg gehabt haben als seine unzählbaren Vorläufer.

Wenn man von der Luftschiffahrt wirklich eine nutzbare Verwendung für das allgemeine Bedürfnis erwartet, so muß man der Frage nach der Lenkbarkeit des Fahrzeugs überhaupt die größte Wichtigkeit beilegen, da erst an ihre günstige Beantwortung sich wirklich praktische Folgen anknüpfen lassen. Während der letzten Zeit ist deshalb das Bestreben einer erfolgreichen Lösung jener Frage äußerst lebhaft gewesen, und dieses Bestreben hat sich sogar mit dem Gedanken einer völligen Rekonstruktion der Luftschiffahrt befaßt. Vor wenigen Jahren noch konnte man nur von der Dampfmaschine die Erzeugung der für die Steuerapparate nötigen Kraft erwarten, weil dieser Motor allein bei höchster Leistungsfähigkeit die verhältnismäßig größte Reduktion des Eigengewichts in Aussicht stellte. Die Notwendigkeit der Gewichtsverminderung führte auch darauf, für das teure und unterwegs nicht immer zu beschaffende

Leuchtgas an die Verwendung des bei gleichem Druck etwa gleich stark auftreibenden Wasserdampfes (Kessel). Mit den Bemühungen um die Lenkbarkeit verband sich aber auch die Sorge um andre Ballonstoffe, welche eine entsprechende Versteifung gestatten. Die alte Kugelgestalt bietet insofern der Fortbewegung zu starken Widerstand und der Lenkung insofern sehr große Schwierigkeiten, als bei Druckkräften die Richtungslinie der Kraft auf den Schwerpunkt, wie schon erwähnt, keine feste Lage haben kann. Deswegen verfolgte man die Idee, zigarrenförmige und fischähnliche Luftschiffe zu bauen (s. Fig. 134 und 135). Dahin gehören die Konstruktionen von Lippert, Livtschak, Hänlein (mit Anwendung eines Gaskraftmotors), Baumgarten, Wölfert, Dupuy de Lome, Andrews (mit einem aus drei cylindrischen Säcken gebildeten Floß), Pfister u. a. Diese Fahrzeuge sind in verschiedener Weise mit Schraubenflügeln oder Flügelschrauben zu Aufwärts- und Seitwärtsbewegung ausgerüstet worden.

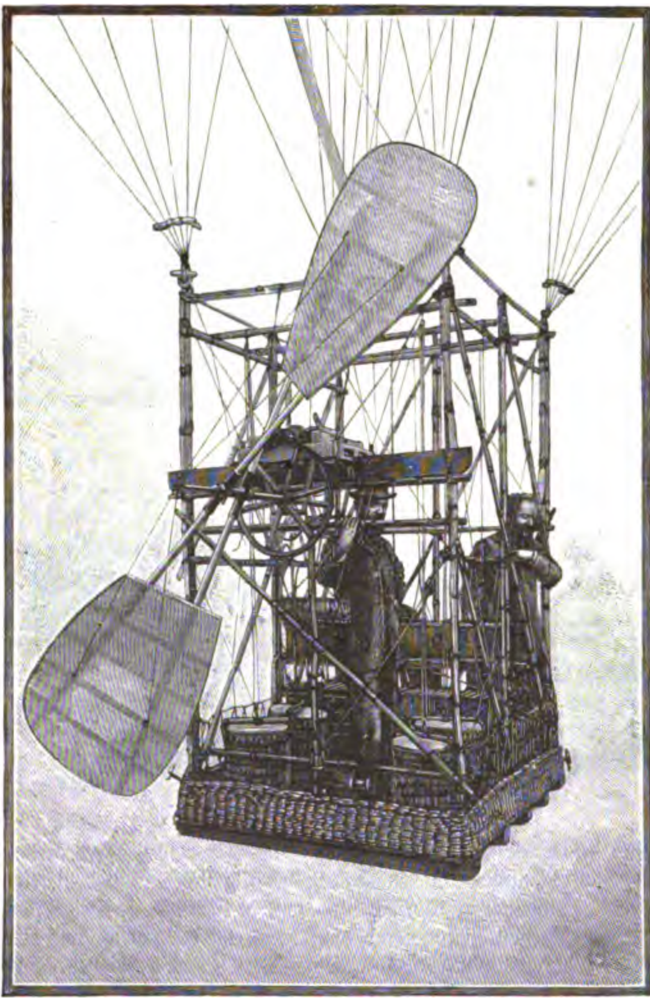


Fig. 137. Gondel von Tissandiers elektrischem Luftschiff.

Indessen ist auch hiermit bisher kaum eine andre günstige Wirkung erzielt worden, als daß bei ganz ruhigem Wetter wohl eine ungefähre Direktion ermöglicht wurde, die aber bei nur etwas bewegter Luft wegen deren Wirkung auf die große Druckfläche sich mehr und mehr verringert und schließlich ganz verschwindet. Es bleibt das Haupterfordernis, um den störenden Einfluß des Windes zu verringern: die Angriffsfläche und somit das Volumen des Ballons zu verringern, also den Motor so leicht wie möglich zu machen. Die Fortschritte der Elektrotechnik (Akkumulatoren), die schon versuchte flüssige Kohlensäure, welche als kraftübertragendes Mittel noch eine große Rolle zu spielen berechtigt erscheint, werden zu neuen Versuchen auffordern. So haben in jüngster Zeit die schon erwähnten Gebrüder Tissandier in Paris zur Fortbewegung von Luftschiffen elektrische Batterien in Anwendung gebracht.

Auf dem Boden der Gondel des Ballons, welche unsre Fig. 137 zeigt, stehen kleine, mit doppeltchromsaurem Kali gefüllte Tonnen, die mit einer höher stehenden elektrischen Batterie in Verbindung gebracht sind. Die Batterie ihrerseits speist eine kleine über der Schraubenwelle angebrachte Dynamomaschine. Die Maschine macht 1200 Umdrehungen in der Minute, und ist mit der leichten Schraube durch ein Getriebe dergestalt verkuppelt, daß sich die Schraube zehnmal langsamer dreht.

Das Resultat hat jedoch auch hier den Erwartungen, gegen den Wind fahren zu können, nur wenig entsprochen. Ob die Versuche in einer oder der andern Richtung jemals einen Erfolg bezüglich der Lenkbarkeit des Luftschiffes haben werden, ist nach alledem jetzt noch zu bezweifeln. Denn trotz aller Anstrengungen, trotz aller scheinbaren Fortschritte darf man immer noch behaupten, daß sich die Luftschiffahrt heute fast noch ganz in demselben Stadium befindet, in das sie durch die Einrichtungen, welche Charles schon an dem Ballon anbrachte, übergeführt wurde, heute, nachdem beinahe ein Jahrhundert der Erfahrung seit dem ersten jubelbegrüßten Auftreten an der Erfindung vorübergegangen ist. Einen wirklichen Nutzen hat die Luftschiffahrt einmal, in den Händen der Naturforscher Gay-Lussac und Biot, gehabt; — für den friedlichen Verkehr ermangelt sie jener Sicherheit, welche allein die Grundlage allgemeiner Einrichtungen sein kann. Nur da, wo kein andres Hilfsmittel der Beförderung mehr zu Gebote steht, wird mit dem Luftballon noch ein Versuch gemacht werden können, aber ebensowenig, wie man sich in der Regel der Brieftauben als Transportmittel für Beförderung von Depeschen bedienen wird, ebensowenig wird man auch heute noch an einen geregelten aëronautischen Verkehr mittels der Luftballons denken.



Fig. 138: Festgehaltener Luftballon zu Auskundschaftung benutzt.

Die Fälle, in denen man dazu gezwungen ist, bietet nur der Krieg. Man hat sich des Luftballons als strategischen Hilfsmittels für Erforschung feindlicher Positionen bedient, und im vorletzten italienischen Kriege begleitete Godard die französische Armee, um mittels eines an langen Seilen gehaltenen Ballons Rekognoszierungen anzustellen. Ganz in derselben Weise diente der Ballon schon den Franzosen in den Revolutionskriegen in Belgien und am Rhein (s. Fig. 138), wo ihnen von den Belgiern einmal ein Ballon zerschossen wurde. Allein der erste Napoleon schon schlug den Vorteil nicht sehr hoch an, denn er ließ die Sache bald wieder einschlafen.

Luftfahrten aus dem belagerten Paris. Während der letzten Belagerung von Paris hat die Luftschiffahrt eine bedeutende Rolle gespielt; bedeutender als je vorher. Täglich stiegen Ballons auf, in der ersten Zeit, nachdem unsre Heere die Riesenstadt von allen Seiten umschlossen hatten, an langen Seilen gehalten, vielleicht oft nur, um den leicht

erregbaren Parisern ein Schauspiel zu geben, das ihre Phantasie beschäftigen konnte. Endlich aber, als alle, auch die unterirdischen Telegraphenverbindungen mit auswärts unterbrochen waren und kein andres Mittel übrig blieb, um Nachrichten aus der Stadt heraus zu befördern, trat der Luftballon als wirkliches Verkehrsmittel in Szene. Personen verließen mit ihm das Innere der Stadt, Briefschaften, Depeschen und vor allem Brieftauben mit sich nehmend, mittels derer man dann von außen den Belagerten konnte wieder Nachrichten zukommen lassen. Schon am 23. Oktober 1870 hatte das Generalpostamt in Paris zwei große Werkstätten eröffnet, die eine in den Gebäuden der Nordbahn, die andre in denen der Orleansbahn. Es war nach und nach eine ganz regelmäßige Ballonbeförderung eingerichtet worden; regelmäßig, d. h. was den Ort und die Zeit des Auffsteigens anbelangt, denn eine bestimmte Richtung einzuschlagen, hatte man trotz aller Anstrengungen nicht gelernt. Der schon öfters genannte Luftschiffer Godard war die Seele aller dieser Unternehmungen.

Es hatte sich eine „Gesellschaft für Lufttransporte in Paris“ gebildet, welche in regelmäßigen Zwischenräumen von drei zu drei Tagen je einen Ballon abgehen ließ. „La défense nationale“, „Latakie“, „L'Éclaireur“, letzterer als Schraubenballon angekündigt (was das heißen sollte, wissen wir nicht), sind ihrerseits durch Berichte bekannt geworden.

Außer diesen großen Ballons, deren jeder von einem Luftschiffer begleitet wurde — Ballons montés — ließ man aber sehr häufig kleine Ballons steigen, Ballons libres, denen man nur die Brieffracht mitgab, in der Hoffnung, daß sie nach ihrem Niedergange von irgend jemand aufgefunden werden möchte, der die Weiterbesorgung der Briefschaften unternähme. Ein jedem solchen Luftboten beigegebenes Regierungsdekret wies den Finder an, sich von dem nächsten Maire für die Ablieferung von Ballon und Inhalt eine Belohnung von 100 Frank auszahlen zu lassen. Eine große Zahl solcher Ballons ist in die Hände unsrer Soldaten gefallen, manchmal erst nachdem diese eine langwierige und abenteuerliche Verfolgung unternommen hatten. Auch ist die Abfangung montierter Ballons mehrfach gelungen — und Krupp hatte sogar eine eigentümliche Kanone konstruiert, welche leicht genug zu dirigieren sein sollte, um dem mit dem Winde fortziehenden Zielpunkte zu folgen.

Das Hauptobjekt der Beförderung waren — außer Gambetta, der Paris ebenfalls in einem Ballon verlassen hat und darauf seinen unheilvollen Zug von einer Armee zur andern begann — wie schon vorhin erwähnt, die Brieftauben. Denn eine Rückkehr der Personen mittels Ballons erschien nicht ausführbar, und die wenigsten von denen, welche einmal aus der eingeschlossenen Stadt entronnen waren, dürften wohl auch die Lust verspürt haben, freiwillig sich wieder in dieselbe zu begeben. Nach und nach aber würde die Zahl derjenigen, welche Erfahrung und Geschicklichkeit genug besitzen, um bei einer Reise im Luftballon jene Maßregeln nicht zu versäumen, von denen möglicherweise ihr Leben abhängt, immer geringer geworden sein, wenn nicht eine besondere Schule für Luftschiffer gegründet worden wäre. Ein Kommission berühmter Gelehrten und Techniker hatte das Protektorat, wie überhaupt für die Vervollkommnung der Luftschiffahrt alle Kräfte der Wissenschaft und Industrie angestrengt wurden. Wenn man nun zwar auch nicht sagen kann, daß durch dieselben wirklich ein Fortschritt gemacht worden wäre, so kann man doch nicht leugnen, daß für die belagerten Pariser selbst die mangelhafte Erfindung einen unendlichen Wert erlangt hatte. Sie war eben das einzige Aushilfsmittel, und wie schon früher in den Kriegen, so hat man auch diesmal in Paris den Ballon captif zu Beobachtungszwecken ausgenutzt, und es war z. B., als Trochu von der Loire-Armee her Entsatz erwartete, eine förmliche aëronautische Beobachtungslinie weit außerhalb des Bereiches unsrer Feuerwaffen eingerichtet worden, deren einzelne Stationen mittels elektrischen Lichtes einander ihre Signale gaben.

Nach einem Verzeichnis, das uns vorliegt, haben vom 23. September 1870 bis zum 22. Januar 1871 nicht weniger als 65 Ballons die eingeschlossene Stadt verlassen. Sie waren fast alle von gleicher Größe (70000—72000 Kubikfuß), und mancher von ihnen trug außer den Personen bis 450 kg Briefe und Depeschen; der „Godefroy Cavaignac“, mit welchem der General Kératry aus Paris ging, hatte sogar über 700 kg Depeschen an Bord.

Bei zwei von diesen Ballons steht in diesem Verzeichnis keine Landungsstelle angegeben — sie sind mit ihren Leitern spurlos verschwunden; es war dies der „Jacquard“,

der am 28. November nachts 11 Uhr vom Orleansbahnhof aufstieg, und der „Richard Wallace“, welcher am 28. Januar früh $3^1/_2$ Uhr vom Nordbahnhofe aus seine Reise antrat. Den „Jacquard“ führte ein junger Seemann Prince. „Ich werde eine weite Reise machen, ihr werdet davon erzählen“, rief derselbe bei der Abfahrt den Zurückbleibenden zu. — Man hat nie wieder etwas von ihm gesehen, nur ein Paket seiner Depeschen wurde im Kanale aufgefischt, und höchstwahrscheinlich hat er auf dem Meere seinen Untergang gefunden, ein Schicksal, welchem der wenige Minuten später abgegangene Ballon „Jules Favre“ auch nur mit genauer Not entging. Den andern Ballon, „Richard Wallace“, hat man in den Morgenstunden des anbrechenden Tages zuletzt von Rochette aus gesehen; er trieb westwärts und verschwand am Horizont — es befand sich in ihm ein Soldat, Emil Lacaze, der wohl nicht genügend mit der Luftschiffahrt vertraut war.

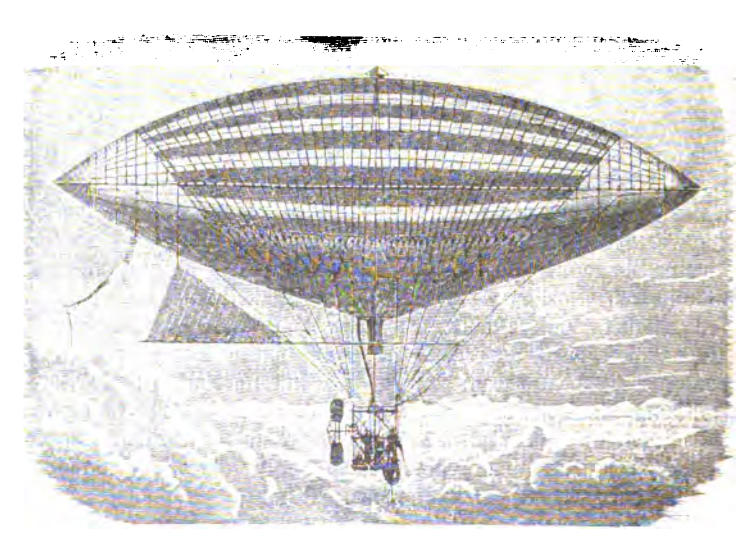
Unfreiwillige Luftfahrt von Paris nach Norwegen. Das merkwürdigste Schicksal aber widerfuhr den Passagieren, welche am 24. Nov. kurz vor Mitternacht mit dem Ballon „Stadt Orleans“ vom Nordbahnhofe auffuhren, um Gambetta in Tours die Nachricht zu bringen, daß General Trochu einen Ausfall plane, durch welchen es ihm möglich sein werde, der Loire-Armee unter Chanzy und Kératry die Hand zu reichen. Es waren dies der Aëronaut Rolier und der Franktireuroffizier Deschamps. Der Ballon trieb zuerst der Somme zu in nordwestlicher Richtung über die Departements Seine und Oise, um $2^1/_2$ Uhr früh, in der Gegend von Valery-sur-Somme, entzog ein dichter Nebel jede Aussicht, und ein eintöniges, bald schwächer werdendes, bald anschwellendes Dröhnen hielten die Reisenden für das Rollen nächtlicher Eisenbahnzüge. Allein das Geräusch dauerte fort und der Eindruck, den es hervorbrachte, wurde immer beängstigender. Als das Morgengrauen schwand und der Horizont sich aufhellte, sahen sie denn auch mit Schrecken, daß die nebelgraue Fläche, die sich endlos unter ihnen ausbreitete, das Meer war. Die endlose Wasserfläche hatte das Geräusch bewirkt, das sie gehört hatten. Ihre Lage war entsetzlich, ohne Lebensmittel, mit Kleidung und Instrumenten zur Bestimmung ihres Weges höchst mangelhaft ausgerüstet, bestürzt und entmutigt sahen sie nicht die geringste Möglichkeit, etwas zu ihrer Rettung zu thun. Sie hielten sich für verloren. Gegen 11 Uhr war der Himmel klarer geworden, der Ballon hatte sich bis auf 1000 m gesenkt, man sah 17 Schiffe nacheinander vorüberfahren, aber keines bemerkte ihre Signale, oder war die Schnelligkeit ihres Fluges so groß, daß jeder Versuch, ihnen beizukommen, vergeblich war? Ja, von einem der Schiffe, wie es in den Berichten heißt, jedenfalls von einem deutschen, wurde sogar auf sie geschossen. Endlich gegen $11^3/_4$ Uhr zeigt sich eine französische Korvette, sie gibt Signale, daß man den Ballon bemerkt hat, und Rolier öffnet das Ventil und läßt den Ballon sinken. Allein ehe derselbe bis zum Spiegel des Meeres hinabgelangt, hat ihn die Strömung der Luft so weit von dem Schiffe weggetrieben, daß dasselbe ihn nicht mehr erreichen kann. Jetzt wird die Lage der Luftschiffer verzweiflungsvoll — sie haben nur zwei Sack Ballast und müssen einen Sack Depeschen opfern, um wieder in die Höhe gelangen zu können. Sie steigen infolgedessen bis auf 3700 m — dichter, ruhigkalter Nebel um sie herum, der Tod scheint unvermeidlich, und sie beschließen, um ihre Angst abzukürzen, den Ballon zu sprengen. Glücklicherweise gelingt es nicht, Feuer anzuzünden, unterdessen fällt der Ballon mit großer Schnelligkeit. Da, eben noch über dem Wasser schwebend, bemerken sie plötzlich den Wipfel einer Tanne durch den Nebel aus einer dichten Schneehülle herausragen, in welche die Gondel unmittelbar darauf einstößt. Sie sind am Lande, Rolier springt heraus, der dadurch erleichterte Ballon erhebt sich aber wieder und Deschamps kann nur durch einen hohen Sprung den Boden gewinnen. Sie sind gerettet, wenigstens vor dem Tode des Ertrinkens; aber was steht ihnen sonst bevor? Alles, was sie an Kleidungsstücken, Decken &c. mit sich hatten, hat der fortgeflogene Ballon ihnen entführt. Auf schnee- und eisbedeckten Bergen wissen sie nicht einmal, wo sie sind. Kein Leben ringsum, keine Spuren menschlicher Thätigkeit — ihr Rufen bleibt ohne Antwort und ihre spähenden Blicke kehren ohne Trost wieder zu einander zurück. Da findet Rolier endlich Spuren, die er für die Gleise eines Schlittens hält, sie folgen ihnen und erreichen nach mehrstündiger Wanderung eine halb verfallene Hütte, in der sie die Nacht zubringen. Hungernd und frierend wandern sie des andern Morgens weiter — gegen Mittag finden sie eine Hütte, deren Bewohner zwar

ausgegangen sind, die aber doch so viel Heizmaterial und Nahrungsmittel zurückgelassen haben, daß die unglücklichen Verirrten sich einigermaßen wieder erholen können.

Der Rauch des angezündeten Feuers lockt die Eigentümer herbei, welche über die unerwartete Einquartierung starr vor Erstaunen sind. Aber man kann sich nicht verständigen, und erst als Rolier das Bild eines Luftballons auf ein Blatt Papier zeichnet und den Namen Paris, auf sich und seinen Gefährten deutend, wiederholt ausspricht, verstehen die Bauern, was damit gesagt sein soll. „Ballone, Paris!“ rufen sie erstaunt aus und sind von jetzt ab sorglich bemüht, ihren unglücklichen Gästen zu helfen. Durch alle Versuche der Verständigung gelingt es endlich, zu erfahren, daß die „Stadt Orleans“ in Norwegen unter dem 62. Grade nördlicher Breite im Kirchspiele Silgfjord, Ort Lifffjeld, niedergegangen ist, 60 geographische Meilen von Christiania, wohin sich die Verschlagenen begeben, unterwegs überall mit Jubel von der Bevölkerung aufgenommen; denn die Geschichte ihrer Rettung hatte sich wie der Blitz verbreitet. Auch der Ballon nebst fünf Depeschensäcken, sechs Brieftauben und sämtlichem sonstigen Inhalte war aufgefunden und geborgen worden. Dies dürfte seit Greens Fahrt von London nach Nassau wohl die weiteste Luftreise gewesen sein, welche ausgeführt worden ist.

In dem Vorhergegangenen haben wir unsern Lesern ein Bild davon gegeben, was die Erfindung des Luftballons bisher geleistet hat.

Betrachten wir neben der Erfindung des Luftballons die gleichzeitig gemachte Erfindung der Dampfmaschine, oder die der wenig älteren Spinnmaschine, von den neueren der Schnellpresse, des elektrischen Telegraphen, des Telephons, der elektromagnetischen Apparate und der Photographie gar nicht zu reden; vergleichen wir den Anteil und die Pflege, welche die zivilisierte Welt dem jungen Pflänzchen zu teil werden ließ, und die Früchte, welche sie später davon gelesen hat — so entspringt daraus ein fast beschämendes Gefühl, daß immer und immer noch die Welt das Überraschende, das Ungeheuerliche jubelnd auf den Händen trägt, während der wahre Fortschritt, still und von den wenigsten erkannt, seinen Weg sich mühsam selber bahnen muß.



Tissandiers elektrisches Luftschiff.



Im Atemholen sind zweierlei Gnaden:
Die Luft einziehen, sich ihrer entladen;
Jenes bedrängt, dieses erfrischt;
So wunderbar ist das Leben gemischt.

Goethe.

Die Luftpumpe und die atmosphärische Briefpost.

Otto von Guericke. Die Luftpumpe und ihre Einrichtung. Die Magdeburger Halbkugeln auf dem Reichstage zu Regensburg. Der Sperrhahn. Zweistiefelige Luftpumpe. Der schädliche Raum. Unter dem Rezipienten. Die Kompressionspumpe und die Windbüchse. — Die atmosphärische Eisenbahn. Geschichte und Einrichtung. Pneumatische Brief- und Paketbeförderung in Paris und London.

Nachdem durch Evangelista Torricelli der Glaube an den „Horror vacui“ der Natur beseitigt und man durch mancherlei Erscheinungen überzeugt worden war, daß auf allen Körpern ohne Ausnahme der sehr bedeutende atmosphärische Druck laste, erwuchs natürlich der Wunsch, das Verhalten der Körper zu untersuchen, wenn jener Druck vermindert oder gar aufgehoben wäre.

Die Mitglieder der Florentiner Akademie waren die ersten, welche in dieser Richtung experimentierten. Damals hatte man noch kein andres Mittel, um sich einen luftleeren Raum zu verschaffen, als die Torricellische Röhre. Dem oberen verschlossenen Ende derselben gab man die Form eines hohlkugeligen Raumes, indem man denselben aus zwei Hälften darstellte, welche genau aufeinander paßten und zusammengefügt wurden, wenn die zu untersuchenden Körper hineingelegt worden waren. Alles zusammen wurde darauf mit Quecksilber gefüllt und, wie in Fig. 96, umgekehrt mit dem offenen Ende in ein Gefäß mit dem gleichen Metall gestellt.

Otto von Guericke, kurbrandenburgischer Rat und Bürgermeister von Magdeburg, suchte diesen Übelständen abzuhelfen. Genau mit dem damaligen Stande der Wissenschaft bekannt, da er in Leiden eifrig Mathematik und Philosophie studiert hatte, richtete er sein Hauptaugenmerk den meteorologischen und astronomischen Erscheinungen zu. Er war der erste, welcher die Meinung von einer regelmäßigen Wiederkehr der Kometen aufstellte; er

erfand die nach ihm so genannten Guerickeschen Wettermännchen, wir kennen ihn als Erfinder der Elektrisiermaschine und andrer wichtiger Apparate und Methoden, und wie er ein reges Interesse an allen neuen Entdeckungen nahm, so wiederholte er auch in Deutschland zuerst die Torricellischen Versuche. Geboren 1602 zu Magdeburg, starb er in Hamburg 1686, wohin er sich nach einem thätigen Leben zu seinem Sohne begeben hatte.

Die zahlreichen Versuche, welche Guericke anstellte und welche sich besonders auch auf das Studium des luftleeren Raumes bezogen, hat er selbst in einem besondern Werke beschrieben. Zuerst nahm er eine Saugpumpe von sehr großem Inhalt und ließ dieselbe unten an einem, im übrigen allseitig geschlossenen Wasserfasse anbringen, so daß der Inhalt dieses letztern bei dem Herabgehen des Kolbens in die Pumpe trat und in dem Fasse ein leerer Raum entstehen mußte. Aber kaum hatte er mit dem Apparate zu arbeiten begonnen, als auch schon die Luft von allen Seiten durch hundert Spalten und Poren in das Innere des Fasses drang mit einem Geräusch, als ob das Wasser ins heftigste Kochen geraten sei.

Nachdem also sich das Holz als zu porös erwiesen hatte, nahm Guericke zu seinen Versuchen metallene Gefäße, denen er kleinere Dimensionen und die Form von Hohlkugeln gab. Die Saugpumpe behielt er bei, aber von der Mitwirkung des Wassers ging er ab. Er benutzte nur die Expansibilität der Luft, und das Prinzip nun, welches dieser Vorrichtung und allen späteren Luftpumpen zu Grunde liegt, läßt sich an Fig. 142 erläutern. Wenn BC ein vollkommen cylindrischer Stiefel von Metall ist, in welchem sich der Kolben D luftdicht bewegen kann, so müßte der Raum über diesem luftleer werden, wenn der Kolben herabgeht, vorausgesetzt nämlich, daß durch den Hals a keine Luft aus dem Gefäße A über den Kolben treten könnte. Besteht aber zwischen dem Kolben und dem luftdichten Gefäße A durch jenen Hals eine offene Verbindung, so tritt die in A befindliche Luft infolge ihrer Expansibilität in den Stiefel über; der letztere kann daher nicht luftleer werden, sondern über dem Kolben kann nur ein luftverdünnter Raum sich bilden. Und zwar wird, je weiter der Kolben herabgeht, um so weiter auch die Verdünnung gehen, denn dieselbe Menge, welche vorher bloß das Gefäß A erfüllte, muß nachher auch noch den Innenraum des Stiefels mit ausfüllen. Falls sich nun das aus A in den Stiefel eingetretene Luftquantum wegschaffen ließe, ohne daß dasselbe in die Kugel zurückträte, und man das Spiel des Kolbens dann wieder in derselben Weise erneuern könnte, so würde die Luft aus A immer mehr und mehr herausgezogen werden. Ganz luftleer aber würde das Gefäß doch nicht zu machen sein, denn da — wenn beispielsweise Stiefel und Kugel gleichgroß sind — die Verdünnung von $^1/_2$ auf $^1/_4$, $^1/_8$, $^1/_{16}$, $^1/_{32}$ u. s. w. fortschreitet und hier immer ein Rest bleiben muß, so wird auch bei andern Verhältnissen die Entleerung keine vollständige werden können.



Fig. 141. Otto von Guericke.

Um den Kolben D an seinen Platz nach B bringen zu können, ohne zugleich die Luft in die Kugel zurückzupressen, erfand Guericke den nach ihm benannten durchbohrten **Hahn**, welcher geradezu in unzähligen Fällen heute noch in seiner ursprünglichen Gestalt Anwendung findet. Derselbe besteht, wie jeder weiß, aus einem cylindrischen oder kegelförmigen

Metall- oder Holzstück, welches in eine gleichgroße Öffnung der Röhre genau eingepaßt und so der Quere nach durchbohrt ist, daß es bei entsprechender Stellung die Flüssigkeit aus der Röhre treten läßt, bei einer Drehung aber um einen Viertelkreis die Röhre ganz dicht verschließt. Diesen vielbenutzten Apparat wandte also Guericke zuerst bei der Luftpumpe an, indem er denselben an dem Halse a anbrachte und den letzteren dadurch allemal verschloß, wenn der Kolben zurück nach B gebracht werden sollte.

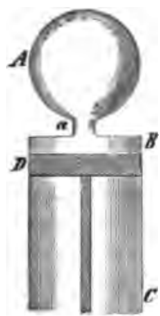


Fig. 141. Prinzip der Luftpumpe.

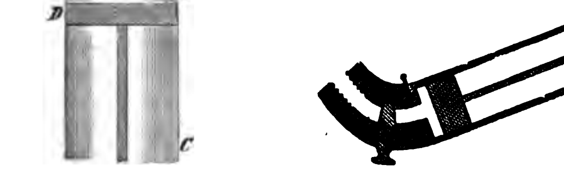


Fig. 142. Otto von Guerickes erste Luftpumpe.

Die gleichzeitige Entfernung der Luft aus dem Stiefel bewerkstelligte er dadurch, daß er am Halse selbst neben dem Hahne oder in dem Deckel B eine kleine Öffnung anbrachte, die mit einem Stift dicht verschlossen werden konnte, wenn der Kolben die Kugel A aussaugte und der Hahn bei a geöffnet war, die dagegen, wenn a geschlossen war und der Kolben wieder zurückgeschoben werden sollte, geöffnet wurde, um der in dem Stiefel erhaltenen Luft zum Ausgange zu dienen.

In dieser Weise also war die älteste Luftpumpe, womit Guericke 1654 seine berühmten Versuche auf dem Reichstage zu Regensburg anstellte, beschaffen. Sie ist noch auf der Berliner Bibliothek vorhanden und besteht aus einem messingenen Stiefel (Fig. 142), der unten in eine Schraube ausgeht, mit welcher er an das auszupumpende Gefäß angeschraubt wird. In demselben wird ein eingeschmirgelter Kolben mittels einer eisernen Stange und eines hölzernen Handgriffs auf und ab bewegt. Die ganze Maschine war ziemlich mangelhaft und roh gearbeitet, und es ist zu verwundern, wie Guericke damit so überraschende Experimente ausführen konnte.



Fig. 143.
Verbesserte Form der ersten Luftpumpe.

Da bei der ersten Anordnung der Widerstand, den der äußere Luftdruck auf den Kolben ausübt, so groß war, daß kaum zwei Männer zu seiner Überwindung hinreichten, so gab Guericke selbst seiner Maschine bald die Form, welche in Fig. 143 dargestellt ist. Der auf drei Füßen ruhende und am Boden festgeschraubte Apparat zeigt einen Schwengel, welcher seine Drehung um einen Bolzen an einem der Füße hat. An diesem Schwengel hängt eine Zugstange, welche ihrerseits wieder am unteren Ende durch ein Gelenk mit der Kolbenstange zusammenhängt. Der untere Ansatz der aufgesetzten Hohlkugel paßt in die obere Öffnung des Stiefels; um den Verschluß aber besser zu dichten, wird das umgebende Gefäß mit Wasser gefüllt. Eine ähnliche Wasserabsperrung befindet sich unten zur Dichtung zwischen Stempel und Stiefel. Die Hohlkugel, der sogenannte Rezipient, ließ sich abschrauben, so daß damit abgesondert Versuche ausgeführt werden konnten.

Guerickes Experimente erregten bei seinen Zeitgenossen ungemeines Aufsehen, besonders nachdem er dieselben auf dem Reichstage zu Regensburg öffentlich dem Kaiser und den versammelten Reichsfürsten vorgeführt hatte. Namentlich erschien das Aufsteigen eines Kolbens in einem weiten Cylinder, aus welchem die Luft ausgepumpt wurde, merkwürdig. Die Kraft vieler Männer war nicht hinreichend, um den Kolben aufzuhalten.

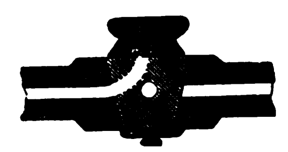


Fig. 144. Senguerds doppelt durchbohrter Hahn.

Vor allem aber interessierten die sogenannten Magdeburger Halbkugeln die Welt. Ein kugelförmiges Hohlgefäß, wie der Rezipient in Fig. 143, war in zwei Hälften zerschnitten, die ganz genau aufeinander paßten. Im gewöhnlichen Zustande halten zwei solcher Halbkugeln gar nicht zusammen; wenn sie aber gut aufeinander gesetzt sind und die Luft aus dem Innern herausgepumpt wird, dann wirkt von allen Seiten der Druck der äußeren Luft und preßt sie mit um so größerer Gewalt gegeneinander, je größer ihre Oberfläche und je weiter die Verdünnung der Luft im Innern getrieben worden ist.

Guerickes Halbkugeln, mit denen er in Regensburg experimentierte, hatten etwa 60 cm im Durchmesser und waren mit starken eisernen Ringen versehen. Man kann sich das Erstaunen der Zuschauer denken, als sie sahen, daß 8, 10, 12, ja 20 Pferde, gegeneinander gespannt, nicht im stande waren, die wie durch einen Zauber zusammengehaltenen Halbkugeln auseinander zu reißen, daß vielmehr 24 bis 30 Pferde benötigt waren, den Widerstand zu überwinden. Das Zerreißen geschah dann allemal mit einem Knall, als ob ein Geschütz abgefeuert würde.



Fig. 145. Zweistiefelige Luftpumpe.

Der Mathematiker Kaspar Schott beschrieb die Guerickesche Luftpumpe und die damit angestellten Versuche; dadurch wurden sie auch dem englischen Physiker Robert Boyle bekannt, der sich so eifrig mit der Wiederholung der Experimente beschäftigte und für die weitere Ausbreitung so viel gethan hat, daß ihm die Engländer die ganze Ehre der Erfindung zugeschrieben haben; sie nannten den luftleeren Raum die Boylesche Leere (Vacuum Boylianum). Andre Physiker ergriffen die Sache gleichfalls mit Lebhaftigkeit, und wenn man die Berichte aus der damaligen Zeit liest, so scheint es fast, als ob auch das große Publikum wissenschaftlichen Entdeckungen eine lebhaftere Teilnahme geschenkt hätte, als es heutzutage der Fall ist. Dadurch nun, daß die Luftpumpe in die Hände vieler Experimentatoren kam, erlitt sie mancherlei Umgestaltungen, wodurch sie den einzelnen Anforderungen entsprechender gemacht wurde. — Diese Veränderungen bezogen sich teils auf die Bewegungsvorrichtung des Kolbens, für welche man Fußtritte, Steigbügel, Zugstangen, Zahnräder, Kurbeln und alles

Mögliche der Reihe nach angewandt hat, und sind daher als solche ziemlich uninteressant; teils aber griffen sie in die innere Einrichtung ein, und wenn sie auch an dem ursprünglichen Guerickeschen Prinzipe nichts änderten, so erhielt doch die Ausführung dadurch mancherlei Neues und sehr Zweckmäßiges. Besonders ist der doppelt durchbohrte Hahn von Senguerd namhaft zu machen, weil durch denselben der Stift überflüssig wird, der die Öffnung, durch welche die Luft herausgepreßt wird, verschließt. Ein solcher Senguerdscher Hahn ist in Fig. 144 dargestellt. Außer der Durchbohrung, welche schon der Guerickesche Hahn zeigt, hat er noch eine zweite, rechtwinkelig gegen die vorige stehend und die Verbindung der inneren Röhre mit der äußeren Luft vermittelnd. Durch diesen Kanal wird die Luft herausgepreßt, nachdem die Verbindung mit dem Rezipienten unterbrochen ist. —



Fig. 146. Versuche mit den Magdeburger Halbkugeln in Regensburg. Nach dem Kupferstich eines gleichzeitigen Künstlers.

Ferner suchte man die Wirkung der Luftpumpe zu beschleunigen und das Spiel der Kolben zugleich leichter zu machen. Hawksbee und Leupold verbanden zu diesem Zwecke zwei Kolben so miteinander, daß, während der eine sinkt, der andre steigt. Da nun aus beiden Stiefeln Luftkanäle in den Rezipienten einmünden, so wird diesem sowohl beim Hin- als beim Hergange der Kurbel Luft entzogen. Der bedeutende Druck der äußeren Luft wird dabei gezwungen, mit zu arbeiten, indem dieselbe Kraft, welche die Bewegung des einen Kolbens hindert, die des andern beschleunigen möchte. Die Überwindung des Widerstandes wird somit wesentlich erleichtert. Man kann den Vorgang mit einer Wage vergleichen, welche sich unter der stärksten Belastung leicht auf und ab bewegen läßt, sobald nur beide Schalen gleiche Lasten zu tragen haben.

Die Abbildung Fig. 145 gibt uns eine Ansicht von einer solchen doppelt wirkenden Luftpumpe. Wir bemerken die zwei nebeneinander stehenden Pumpenstiefel, welche aus starkem Glas ausgeführt und inwendig vollständig ausgeschmirgelt sind; häufig werden sie auch aus Messing gegossen und durch Vorsprünge noch dauerhafter gemacht; die beiden

Kolbenstangen sind gezahnt und greifen in ein auf der zwischen ihnen durchgehenden Welle sitzendes Zahnrad, welches durch den Schwengel in Bewegung gesetzt wird. Vom Boden jedes Stiefels geht ein Luftkanal nach dem Rezipienten; beide Luftwege vereinigen sich hinter den Stiefeln zu einem einzigen, der nach der Säule hinübergeführt ist, auf welcher die Glasglocke steht. Er steigt in der Säule in die Höhe und mündet in einem kleinen Loche der Platte oder des Tellers aus. Der Standort des Rezipienten ist eine gut geschliffene Messingplatte. Der Rand der Glocke ist ebenfalls ganz eben abgeschliffen, und indem man ihn vor dem Aufsetzen mit Fett bestreicht, kann man der äußeren Luft jeden Zutritt versperren.

Die Einführung dieser Standplatte, des **Tellers**, verdanken wir **Dionysius Papinus** (1674). Dieser berühmte Physiker brachte auch zuerst anstatt der Hähne **Ventile**, und zwar **Klappenventile**, im Kolben an; das sind dünne Platten, die sich nur nach einer Seite hin bewegen können und nach dieser der zusammengepreßten Luft den Ausgang gestatten, die dagegen sich wieder luftdicht vor die Öffnung legen, wenn von der andern Seite, beim Rückgange des Kolbens, der Druck größer wird. Außerdem machten sich **Smeaton** und **Cuthbertson**, zwei englische Künstler, um die Vervollkommnung der Luftpumpe verdient, und namentlich hat der letztere durch eigentümliche Einrichtung des Kolbens ausgezeichnete Werke hergestellt. Um den Grad der erreichten Verdünnung zu prüfen, erfand Smeaton die sogenannte **Birnprobe**. Cuthbertson wandte die bei weitem vorzuziehende **Barometerprobe** an, ein kleines Barometer, dessen geschlossener Schenkel aber nur wenige Zoll hoch ist, und in welchem das Quecksilber daher erst sinkt, wenn die Verdünnung der Luft schon einen sehr hohen Grad erreicht hat.

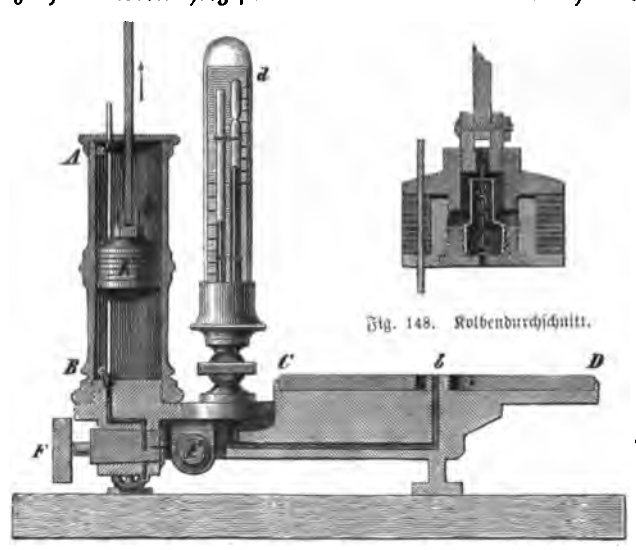


Fig. 148. Kolbendurchschnitt.

Fig. 147. Durchschnitt der Luftpumpe.

Abgesehen von dem früher schon erwähnten Umstande, daß durch die fortgesetzte Teilung der Luftmasse eine vollständige Entleerung des Rezipienten nicht zu erreichen ist, trat aber den Bestrebungen der Physiker noch der sogenannte **schädliche Raum** hindernd entgegen. Wenn nämlich der Kolben auch noch so weit heruntergeführt wird, so bleibt zwischen seinen Ventilen und der Absperrung des Rezipienten doch immer noch ein Zwischenraum, in welchem sich beim Herausziehen der Luft ein Rest erhält, welcher die Spannung der äußeren Atmosphäre besitzen muß und der, wenn die Verbindung des Rezipienten und des Stiefels durch den Hahn behufs der weiteren Verdünnung wieder geöffnet ist, in den Rezipienten wieder einströmt. Seiner Wirkung wegen erhielt dieser Zwischenraum den Namen **schädlicher Raum**. Seine Größe bestimmt den äußersten Grad der Verdünnung, welcher überhaupt zu erreichen ist. Da er nun bei Klappenventilen ziemlich bedeutend bleibt, so hat man auch bald von einer durchgängigen Anwendung dieser Verschlußvorrichtung abgesehen und zum Teil andre Ventile angebracht, zum Teil auch wieder zu den alten Hähnen zurückgegriffen, die von vielen in verschiedener Weise wieder verändert worden sind.

Wir übergehen diese allmählichen Vervollkommnungen und wenden uns zu der Betrachtung des Innern einer zweistiefeligen Ventilluftpumpe, wie sie gegenwärtig auf eine zweckmäßige Weise ausgeführt wird. Es ist nach dem bisher Gesagten in den Figuren 147 und 148 alles leicht verständlich: AB ist der Stiefel, K der Kolben, CD der Teller, aus welchem der Luftgang, der bei c in den Stiefel mündet, bei b austritt. Unter c befindet

sich an einer dünnen Eisenstange ein kleiner Kegel, das Bodenventil. Diese Eisenstange geht luftdicht durch den Kolben hindurch und hat bei a einen festen Ansatz, der ihr nur eine sehr geringe Erhebung über die Öffnung c gestattet. Der Hahn E setzt, mittels der uns schon bekannten Durchbohrung, je nach Bedürfnis den Rezipienten mit dem Stiefel oder mit der äußeren Luft in Verbindung, schließt ihn aber auch von beiden ab; d ist die Barometerprobe. Wenn der Kolben gehoben wird, so geht die Stange etwas mit in die Höhe, der abgestumpfte Kegel öffnet die Röhre und die Luft aus dem Rezipienten tritt in den Stiefel; geht der Kolben zurück, so setzt sich der Kegel in die Öffnung und verschließt sie luftdicht. Mit seiner oberen Fläche liegt er genau in der Bodenfläche des Stiefels, so daß beim tiefsten Stande des Kolbens kein Zwischenraum bleibt und alle Luft durch das im Innern des Kolbens befindliche Ventil in den oberen Teil des Stiefels gepreßt wird. Wie dies Ventil eingerichtet ist, wird aus Fig. 148 klar, woraus auch hervorgeht, daß der schädliche Raum sich auf die kleine unter dem Ventil befindliche Röhre reduziert, welche selbst beim tiefsten Stande des Kolbens mit Luft gefüllt bleibt. Stöhrer in Leipzig und Staudinger in Gießen haben aber den Einfluß desselben noch dadurch verringert, daß sie den oberen Teil des Stiefels beim Heruntergehen des Kolbens von der äußeren Luft abgesperrt haben. Dadurch erhielten sie einen luftverdünnten Raum, welcher die Öffnung des Ventils im Kolben wesentlich erleichtert und fernerhin den schädlichen Raum auch nicht mit Luft von atmosphärischer Spannung, sondern nur mit verdünnter Luft sich füllen läßt.

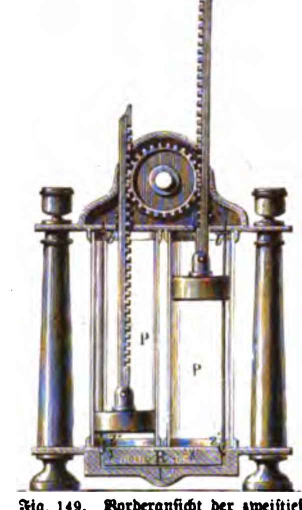


Fig. 149. Vorderansicht der zweistiefeligen Luftpumpe.

Man hat auch Luftpumpen ohne Ventile erfunden, und eine vorzüglich scharfsinnige Einrichtung hat Buchanan angegeben. In der Fig. 149 ist eine Vorderansicht der beiden Stiefel und des Zahnmechanismus gegeben, durch welchen die Kolben in denselben bewegt werden. Es sind P und P' die Stiefel, γ und γ' die von dem Rezipienten her führenden Luftkanäle, welche durch die an den Stangen b und b' sitzenden Bodenventile z' z' geöffnet und geschlossen werden, R aber ist der doppelt durchbohrte Zahn, mittels dessen man die Absperrung der Rezipienten sowohl als die Zulassung der atmosphärischen Luft bewerkstelligen kann.

Hydraulische Luftpumpen sind die alten Vorrichtungen, welche eine Torricellische Leere erzeugen; bei ihnen steht der Rezipient entweder über einer Quecksilberröhre von mindestens 76 cm (28 Zoll) Länge, oder er ist mit einem mehr als 10 m langen Wasserrohre in Verbindung gesetzt. In der neueren Zeit hat man die **Quecksilberluftpumpen** sehr vervollkommnet, so daß sie sogar den Hahnluftpumpen gegenüber manche Vorzüge haben. Infolgedessen werden die Konstruktionen, welche Sprengel, Geißler u. a. angegeben haben, für physikalische und chemische Zwecke vielfach ausgeführt. — Man kann den einfachen **Bettersatz**, wie er seit alten Zeiten in den Harzer Bergwerken zum Wetterwechsel in Gebrauch ist, als eine der ältesten Luftpumpen ansehen. Derselbe besteht aus einem feststehenden Fasse, durch dessen Boden eine weite Röhre bis in denjenigen Teil des


Fig. 150. Unter dem Rezipienten.

Grubenbaues geht, welcher von schlechten Wettern befreit werden soll. Die Röhre geht in dem Innern des Fasses in die Höhe, so daß sie über den Spiegel des Wassers, mit dem enes angefüllt ist, herausragt, und hat an ihrer oberen Öffnung eine oder zwei Klappen, welche nach außen schlagen. In diesem feststehenden Fasse steckt ein zweites bewegliches, umgekehrtes, also unten offenes Faß, dessen oberer Boden ein Klappenventil trägt, das ebenfalls nach außen schlägt. Durch irgend einen Mechanismus, ähnlich einem Pumpenschwengel, wird das bewegliche Faß auf und ab bewegt und dadurch über dem Wasser einmal ein luftverdünnter Raum hergestellt, in welchen die Luft aus dem Innern der Grube eindringt, dann aber beim Herabgehen des zweiten Fasses, infolgedessen sich die Klappe der Röhre schließt, die Luft verdichtet, sie hebt das Ventil am Boden des Fasses und entweicht durch dasselbe.

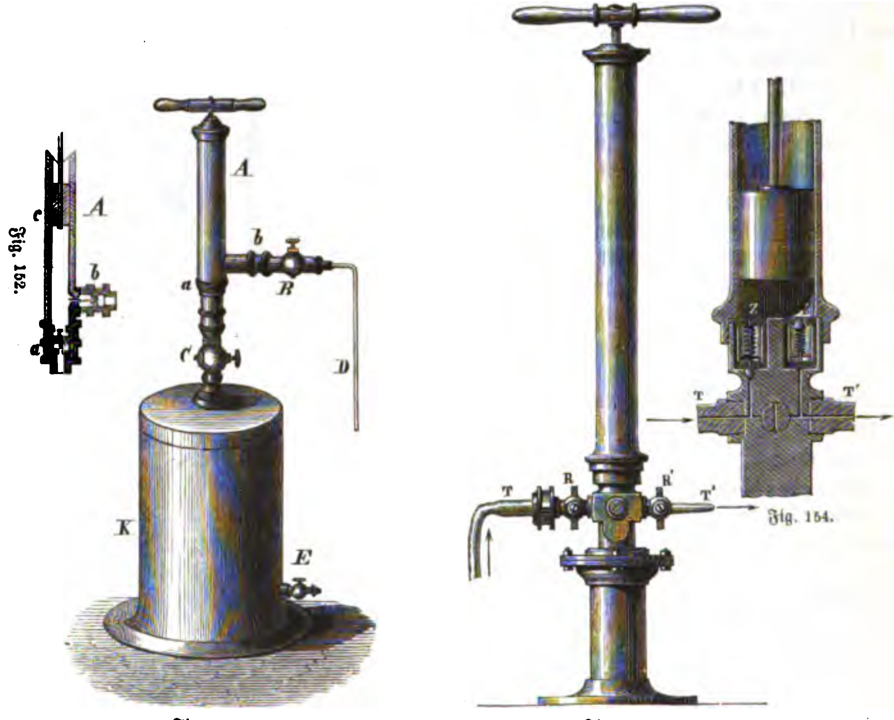


Fig. 151. Fig. 153.
Fig. 151—154. Kompressionspumpen; äußere Ansicht und Durchschnitt des Stiefels.

Versuche mit der Luftpumpe. Wir haben schon bei der Besprechung des Luftballons der Erscheinung gedacht, daß der mit Gas gefüllte Ballon, wenn er in die höheren luftverdünnten Regionen gelangt, aufschwillt, ja daß er sogar zerplatzen kann, wenn dem Gase nicht ein Ausweg geöffnet wird. Dasselbe können wir unter dem Rezipienten der Luftpumpe beobachten. Bringen wir nämlich eine halb mit Luft gefüllte, aber fest zugebundene Blase darunter, so regt sich diese, wenn die Luft unter dem Rezipienten ausgezogen wird, auf eine merkwürdige Weise. Sobald durch die Verdünnung der Druck der äußeren Luft abnimmt, folgt die Luft in der Blase ihrem Bestreben, sich auszudehnen, die Blase wird straffer (Fig. 150) und zerplatzt endlich, wenn die Haut die innere Spannung nicht mehr auszuhalten vermag. Eine Traube mit getrockneten Rosinen bekommt aus demselben Grunde unter dem Rezipienten das Aussehen, als trüge sie lauter saftige, runde Beeren; läßt man aber die Luft wieder zuströmen, so schrumpfen sie augenblicklich wieder zusammen. Eine mit Wasser halbgefüllte und fest verkorkte Flasche, durch deren Kork ein dünnes Röhrchen bis unter den Wasserspiegel hinabgeht, verwandelt sich unter der Glocke in einen Springbrunnen, da die Luft in der Flasche sich ausdehnt, dadurch auf den Wasserspiegel drückt und die Flüssigkeit zu dem Röhrchen hinauspreßt.

Das Bestreben, sich auszudehnen und in Dämpfe zu verwandeln, haben sehr viele Flüssigkeiten, wenn auch in viel geringerem Grade als die Gase. An einer raschen Verflüchtigung hindert sie für gewöhnlich aber der Druck der atmosphärischen Luft. Sie kochen erst, wenn durch Erhitzen ihr ursprüngliches Ausdehnungsbestreben verstärkt wird. Auf hohen Bergen, wo der Luftdruck geringer ist, kocht daher das Wasser bei viel niedrigeren Wärmegraden und man kann die Temperatur des Siedepunktes benutzen, um den Luftdruck und damit die Erhebung über den Meeresspiegel zu messen. In Quito vermag man auf gewöhnliche Weise keine Kartoffeln gar zu machen; das Wasser kocht, ehe es dazu heißt genug wird. Unter der Glocke der Luftpumpe fangen demgemäß auch manche Flüssigkeiten, wenn sie nur ganz wenig erwärmt werden, an zu sieden; ja, besonders flüchtige, wie Alkohol, Schwefeläther, bedürfen, um in das heftigste Aufwallen zu geraten, gar keiner vorhergehenden Erwärmung; natürlich muß man die sich entwickelnden Dämpfe durch fortwährendes Pumpen immer wieder entfernen. In der Praxis macht man von dieser Erscheinung eine höchst wichtige Anwendung.

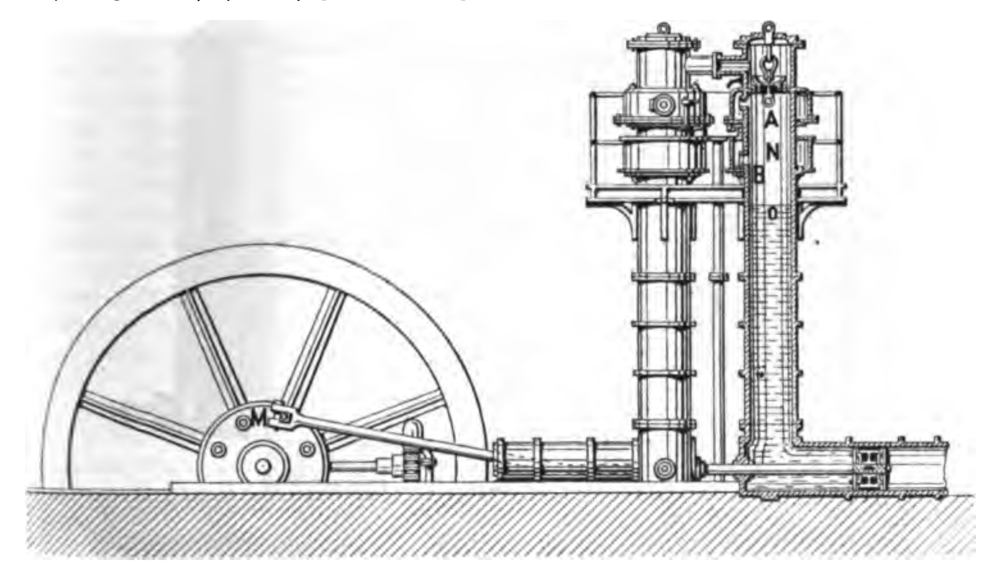


Fig. 155. Luftpumpe zur Herstellung komprimierter Luft im Mont-Cenis-Tunnel.

Die aus dem Rübensafte dargestellte Zuckerlösung zersetzt sich sehr leicht. Sie muß also sehr rasch abgedampft werden, um den festen Zucker auszuscheiden. Da aber eine Erhitzung bis über 100 Grad, wo jene Lösung erst zum Sieden kommt, der Zuckergewinnung insofern wieder nachteilig wird, als sich bei einer solchen Temperatur sehr viel kristallisierbarer Zucker in minder wertvollen Sirup verwandelt, so erniedrigt man durch Anwendung großer Luftpumpen den Siedepunkt, indem man aus den verschlossenen Gefäßen, in welchen der Zuckersaft abdampfen soll, die sich entwickelnden Dämpfe ohne Unterbrechung rasch entfernt.

Der Mangel an Luft unter dem Rezipienten tötet darunter gebrachte Tiere bald. Fische sterben, selbst wenn sie im Wasser sich befinden, weil diesem der darin aufgelöste und zum Leben seiner Bewohner notwendige Sauerstoff entzogen wird. Alle Gasarten, die in Flüssigkeiten aufgelöst oder durch Druck hineingepreßt sind, entweichen als Blasen; Bier und kohlensäurehaltige Getränke schäumen heftig. Die Lichtflamme schrumpft ein und verlöscht, denn sie kann der verdünnten Luft nicht mehr so viel Sauerstoff entnehmen wie der atmosphärischen.

„Die Luft“, sagt Humboldt, „ist die Trägerin des Schalles, also auch die Trägerin der Sprache, der Mitteilung der Ideen, der Geselligkeit unter den Völkern. Wäre der Erdball der Atmosphäre beraubt, wie unser Mond, so stellte er sich uns in der Phantasie als eine klanglose Einöde dar.“ Das Schlagwerk einer Uhr wird unter der Glocke einer

Luftpumpe leiser und leiser, je mehr man die Luft auszieht. Der Ton verstummt endlich ganz und lebt erst wieder auf, wenn neue Luft zugelassen wird.

Ein Stück Papier fällt in der Luft langsamer zur Erde als ein Stein; im luftleeren Raume aber kommen beide Körper gleich rasch herunter, denn der Widerstand, welcher die geringe lebendige Kraft des leichten Papieres rascher aufzehrt als die viel bedeutendere des Steines, ist hier nicht mehr vorhanden, und es wirkt ungehindert die Schwere, welche allen Körpern auf der Erde dieselbe Fallgeschwindigkeit erteilt.

Setzt man über die Öffnung der Röhre, auf den Teller, anstatt der Glocke einen offenen Cylinder, den man oben mit Blase verbindet, so wird diese, wenn man auspumpt, nach innen getrieben und endlich, wenn sie den Druck der äußeren Luft nicht mehr aushalten kann, mit einem Knall zersprengt. Ein Holzteller, auf den Cylinder gesetzt, läßt sich zwar nicht zersprengen, aber die Luft dringt durch die feinen Poren des Holzes hindurch und reißt auch Flüssigkeiten, die man auf den Teller gebracht hat, mit hinein. Quecksilber bildet auf diese Weise einen feinen Regen aus lauter zarten Tröpfchen.

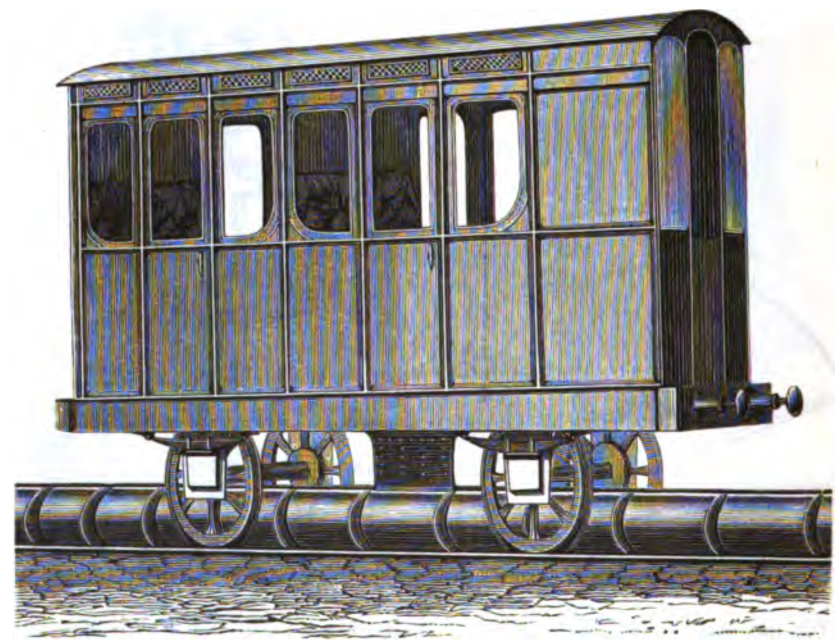


Fig. 166. Personenwagen auf der atmosphärischen Eisenbahn zu St. Germain.

Wenn man für den Teller ein siebartiges Gefäß in den Cylinder hängt und dasselbe mit Stoffen, welche lösliche Bestandteile enthalten, vollstampft, so kann man durch den Luftdruck dieselben vollständig ausziehen, man braucht nur Wasser oder Spiritus darüber zu gießen und die Luftpumpe arbeiten zu lassen. In mannigfacher Weise wird dies in Apotheken und Fabriken angewandt und selbst manche Kaffeemaschinen beruhen auf demselben Prinzipe, wenn auch hier der luftverdünnte Raum auf eine andre Art, nämlich wie bei den Schröpfköpfen, durch Erhitzen erzeugt wird.

Schließlich sei noch erwähnt, daß man unter dem Rezipienten der Luftpumpe die Luft direkt wägen, das heißt, ihr Gewicht mit Hilfe einer gewöhnlichen Wage und gewöhnlicher Gewichte bestimmen kann. Nimmt man nämlich eine hohle, mit Luft gefüllte und gut verschlossene Glaskugel, hängt diese an dem einen Ende eines sehr empfindlichen Wagebalkens auf, dessen am andern Ende befindliche Schale so viel Gewicht trägt, daß der Balken genau horizontal steht, und bringt sie damit unter die Luftpumpe, so wird, wenn die Luft ausgepumpt worden ist, so daß die Kugel nicht mehr in dem Luftmeere schwimmt, sich der Arm, woran sie hängt, neigen. Umgekehrt, wenn man dieselbe hohle Kugel luftleer pumpt und wiegt, beträgt ihr Gewicht weniger, als wenn man den Hahn öffnet und die hineingeströmte

Luft das zweite Mal mit wiegt. 1 l Luft wiegt etwas mehr als 1 g; eine Kugel also, die einen Zentner Luft in sich fassen sollte, brauchte nur wenig mehr als 5 m Durchmesser zu haben.

Kompressionspumpe. Um Luftverdichtungen herzustellen, die zu manchen wissenschaftlichen wie technischen Zwecken erwünscht sind, kann man fast alle Hahnluftpumpen verwenden. Es ist nichts erforderlich, als eine entgegengesetzte Drehung der Abschlußvorrichtung bei jedem Kolbenzuge. Ventilluftpumpen sind dagegen nicht ohne weiteres brauchbar, sie müssen eine Abänderung erleiden, damit die Ventile im entgegengesetzten Sinne sich bewegen. In welcher Art dieselben dann eingerichtet sind, kann man aus Fig. 151 und 152 ersehen. In einem Pumpenkörper A von kleinem Durchmesser läßt sich ein Kolben c (Fig. 152) luftdicht auf und ab bewegen. B und C sind Hähne zum Absperren der äußeren Luft, sie sind beim Gange der Kompression geöffnet (s. Fig. (151). Bei a und b liegen zwei Ventile, von denen das bei a sich schließt, das bei b aber sich öffnet, wenn der Kolben in die Höhe geht. Während dieser Zeit tritt also die Luft durch die Röhre D von außen in das Innere des Stiefels. Geht der Kolben herab, so preßt er das Ventil b in die Öffnung und schließt die nach außen führende Röhre ab, durch das Ventil a aber drückt er die vorher eingesaugte Luft in den Raum K, in welchem sie zu der schon vorhandenen gepreßt wird und von wo sie mittels Röhren bei E weitergeleitet werden kann. Ein etwas andres Arrangement der Ventile zeigt Fig. 154. Beim Aufgange des Kolbens öffnet sich das Ventil Z und läßt der äußeren Luft durch T Eintritt in den Stiefel, beim Herabgehen schließt sich Z, dagegen öffnet sich Z' und die Luft wird durch T' in den Verdichtungsraum gepreßt.

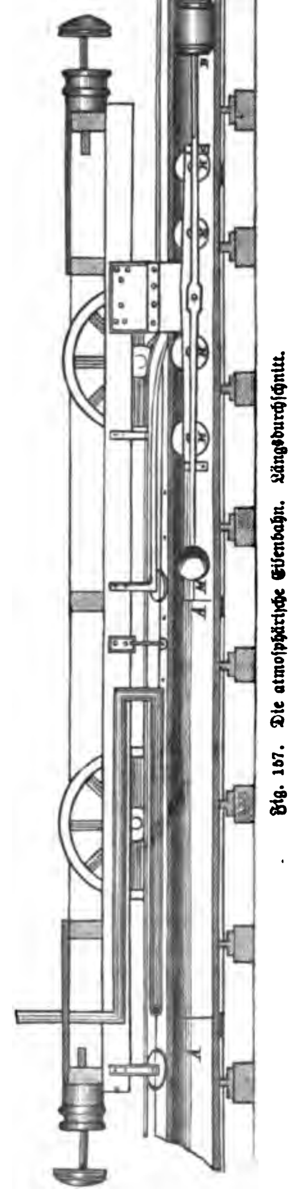


Fig. 157. Die atmosphärische Eisenbahn. Längsdurchschnitt.

Eine sehr wichtige Anwendung macht man in der Praxis von den Kompressionspumpen bei der Fabrikation der künstlichen kohlensauren Wässer; eine ungleich großartigere haben sie gefunden bei der im Jahre 1870 vollendeten Durchbohrung des Mont Cenis, wo die verdichtete Luft in ganz ähnlicher Weise, wie es in den Dampfmaschinen mit den hochgespannten Wasserdämpfen geschieht, als Kraftquelle zum Betriebe der Bohrmaschine angewendet wurde. Unsre Fig. 155 weist eine beim Mont-Cenis-Tunnel verwendete Kompressionspumpe auf. Von der auf der Schwungradwelle sitzenden Kurbelscheibe M geht eine Pleuelstange nach der horizontalen Kolbenstange, welche in den beiden horizontalen Cylindern je einen Kolben hin und her bewegt. Über den Kolben und sich in den aufrecht stehenden Cylindern fortsetzend, steht eine Wassersäule O, welche auf und nieder geht und bei vollem Kolbenhube den Cylinder N ganz ausfüllt. Dieser hat an der Seite ein Ventil B zum Einlassen der Luft, wenn der Kolben zurückgeht und mit ihm die Wassersäule sinkt, sowie darüber ein andres Ventil A, durch welches die komprimierte Luft in den Sammelbehälter ausströmt. Diese Luftpumpen nun standen außerhalb des Tunnels und wurden hier in Bewegung gesetzt, die verdichtete Luft aber führte eine Leitung von starken eisernen Röhren bis vor den Ort, wo die Bohrmaschine stand. Dadurch wurde der große Vorteil erreicht, daß man mit Bequemlichkeit hinreichende Kraft erzeugen konnte, um die Sprenglöcher auszubohren, was im Innern mit Hilfe von Dampfmaschinen oder andern Motoren nicht der Fall gewesen sein würde; dann aber auch wurde durch die im Innern des Tunnels aus der Maschine tretende komprimierte Luft den Arbeitern

neues Atmungsmaterial geliefert und die schlechte Luft durch frische ersetzt, in welcher Lungen und Lampen ihre Thätigkeit unterhalten konnten. Die komprimierte Luft diente somit in zweierlei Weise, einmal als Transmission für die Übertragung der Kraft und dann als Ventilation, und es kann nicht bezweifelt werden, daß ohne diese ihre geistreiche Verwendung das Riesenwerk nicht nur nicht in der überaus kurzen Zeit, sondern wahrscheinlich gar nicht hätte zustande gebracht werden können.

Später hat man übrigens Maschinen gleicher Art bei dem noch großartigeren Werke des Gotthardtunnels, welches im achten Jahrzehnt unsres Jahrhunderts geschaffen worden, in Anwendung gebracht.

Anders konstruiert als diese eben besprochenen Maschinen sind die in neuester Zeit bei dem Bau des unterseeischen Tunnels zwischen Frankreich und England verwendeten Kompressionspumpen, welche mit Rücksicht auf die Natur des zu durchgrabenden Bodens nach einem Entwurfe des Obersten Beaumont hergestellt sind. Während man bei den oben erwähnten Gebirgstunneln ein hartes Granitgestein zu durchbohren hatte, hat man es bei dem unterseeischen Tunnelbau, in der Nähe von Calais, mit einer Kreideschicht zu thun. Zwei auf der Erdoberfläche stehende mächtige Maschinen arbeiten dort gleichzeitig. Jede treibt mittels komprimierter Luft eine kreisrunde Scheibe, welche den gleichen Durchmesser wie der Tunnel hat und mit erstaunlicher Raschheit und Genauigkeit die Kreide schneidet. Die eine arbeitet einen Stollen von $2{,}_{13}$ m Durchmesser vor, welcher dann von der andern Maschine bis auf $4{,}_{26}$ m erweitert wird. Auch die Vorteile der Ventilierung bieten diese Maschinen den dabei beschäftigten Arbeitern in hervorragendem Maße.

Auf ganz ähnliche Weise wie die Kompressionspumpen sind die Windbüchsen eingerichtet, nur haben die einzelnen Teile eine etwas andre Form, die ein dem Zwecke entsprechendes Hantieren gestattet. Sie sollen von einem Nürnberger, Namens Gester, um 1430 erfunden worden sein, allein es herrscht über Zeit und Erfinder keine vollständige Gewißheit. Die genannte Jahrzahl dürfte wahrscheinlich zu weit zurückliegen. Zwar soll, nach Muschenbroek, in der Gewehrkammer eines Herrn von Schmettau eine unvollkommene Windbüchse mit der Jahrzahl 1474 vorhanden gewesen sein, allein dagegen behaupten Nürnberger Chroniken, daß der Apparat erst um 1560 von einem Hans Lobsinger erdacht worden sei. Damit wären nun allen späteren Prätendenten die Ansprüche auf die Priorität abgeschnitten, und ebensowenig dürfte auch Otto von Guericke mit seiner sogenannten Magdeburgischen Windbüchse, „aus der man mit der Luft schießt, wie man sie an einem Orte findet", als Erfinder der Windbüchse gelten. Denn in dem Berichte darüber heißt es: „Es wird die ausgepumpte Kugel an den Lauf geschraubt, da denn die Luft, die in den luftleeren Raum hineinfährt, die Kugel, die im Laufe liegt, mit Gewalt heraustreibt", und danach scheint Guericke gerade den entgegengesetzten Gedanken von dem verfolgt zu haben, der den gewöhnlichen Windbüchsen zu Grunde liegt. Ein gewisser Mathei zu Turin soll eine Windbüchse konstruiert haben, die dadurch geladen wurde, daß man 2 Unzen Schießpulver in der hohlen Kugel abbrannte; die entwickelten Gase hatten eine Spannung, die für 18 Schuß auf je 60 Schritt Entfernung und für eine große Zahl minder weite ausreichte.

Unsre gewöhnlichen Windbüchsen sind Kompressionspumpen. Die komprimierte Luft befindet sich entweder in einer hohlen kupfernen Kugel, wohinein sie durch einen Kolben gepreßt wird, oder aber der ausgehöhlte Schaft dient gleich als Rezipient. Der Drücker öffnet dann ein Ventil, welches der Luft einen Ausweg in den Lauf hinter die Kugel öffnet und diese dadurch mit Gewalt hinaustreibt.

Der Luftdruck treibt den Saft in den Zellen der Pflanzen in die Höhe, und wenn er es auch nicht allein ist, der die Säftebewegung von den Wurzeln aus bis in die äußersten Gipfel der bis 100 m hohen Stämme vermittelt, so ist seine Mitwirkung jedenfalls von hoher Bedeutung; durch ihn haften die Extremitäten der Menschen und Tiere in ihren Gelenkhöhlen, so daß diese langen Glieder mit dem geringsten Kraftaufwande getragen werden. Ja, alle Funktionen des belebten Organismus sind so durch seine Mitwirkung bedingt, daß unsre Welt eine ganz andre sein würde, wenn dieser wichtige Faktor plötzlich wegfiele. Unter den mannigfachen Anwendungen aber, welche das gewerbliche Leben von seiner Wirkung gemacht hat, wollen wir hauptsächlich zweier Erwähnung thun: der atmosphärischen Eisenbahn und der pneumatischen Paketbeförderung.

Die atmosphärische Eisenbahn. Der Gedanke, Frachten und selbst Passagiere durch den Luftdruck zu befördern, ist nicht neu. Bereits vor zwei Jahrhunderten machte Papin auf ihn aufmerksam, indem er vorschlug, auf die zu bewegenden Wagen von hinten komprimierte Luft wirken zu lassen, dieselben also wie die Kugel aus einem Blasrohre durch eine geeignete Tunnelröhre zu blasen. Von einigen Späteren wurde diese Idee zeitweilig wieder aufgegriffen, aber es ist nicht bekannt, daß irgendwo Anstalten getroffen worden wären, sie in Ausführung zu bringen. Die Verkehrsverhältnisse hatten noch nicht jene Ausdehnung gewonnen, welcher keine Opfer, selbst für die Prüfung der abenteuerlichsten Pläne, zu hoch sind; in damaliger Zeit hielt man es für närrisch, wenn nicht gar für vermessen, eine größere Geschwindigkeit für Beförderung beanspruchen zu wollen, als der Lauf der Zugtiere erreicht.

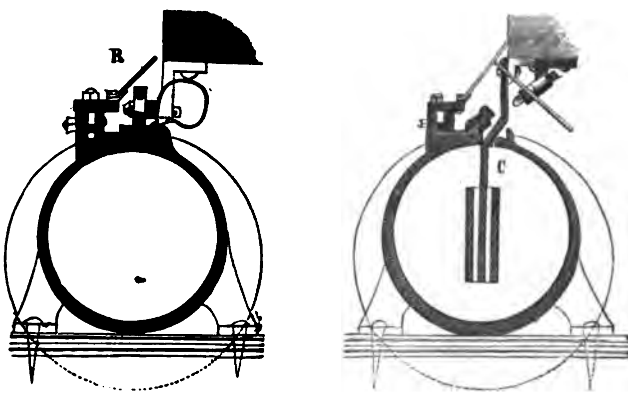


Fig. 158. Querdurchschnitt der Röhre. Fig. 159.

Erst vor fünfzig und einigen Jahren wieder nahm sich ein gewisser Medhurst der Sache mit Ernst an. Er gab eine Darstellung des Planes unter dem Titel: „Eine neue Methode, Briefe und Güter durch die Luft zu befördern.“ Der Plan einer atmosphärischen Eisenbahn selbst zur Beförderung von Reisenden war von ihm bis in die Details ausgearbeitet worden, aber es fehlte noch der Boden für solche Ideen. Als aber die Eisenbahnangst vergangen war und sich jene Befürchtungen — daß alles darauf verwandte Geld zum Fenster hinausgeworfen sei, daß es nur noch Menschen auf der Erde geben werde, die durch die Lokomotive in irgend einer Weise unglücklich gemacht worden wären, sei es, daß durch den Luftdruck einer ihrer lieben Anverwandten getötet und sehr viele in Krankheit gestürzt würden, oder daß die Fuhrleute ihre Pferde verhungern lassen müßten und daß alle Gastwirte an der Heerstraße den gewissen Hungertod vor Augen sähen — als diese und nicht nur Hunderte, nein Tausende von ähnlichen Albernheiten durch den wirklichen Erfolg, durch die rasche, segensreiche Umgestaltung infolge der neuen Verkehrsmittel glücklich beseitigt waren — da erhob sich an Stelle der früheren philisterhaften Kleinmütigkeit ein ebenso grenzenloser Eisenbahnenthusiasmus. Derselbe grassierte in den dreißiger und vierziger Jahren. Jetzt erschien nun nichts mehr unausführbar. Wenn jemand eine Eisenbahn auf den Montblanc hinauf hätte bauen wollen, er hätte Aktionäre gefunden.

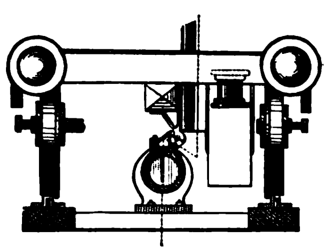


Fig. 160. Vorderansicht der Eisenbahn.

Das war nun auch die richtige Zeit, um das atmosphärische Eisenbahnprojekt zu realisieren. Medhurst hatte im großen Ganzen die nächstliegenden Möglichkeiten einer zweckmäßigen Ausführung erschöpft. Ein Wagen sollte an einem vertikalen Stabe befestigt werden, an dessen anderem Ende ein Kolben angebracht war, welcher sich in einer horizontal liegenden Röhre luftdicht bewegte. Die Längsspalte der Röhre, wo der Stab durch die Wandung derselben hindurchging, war mit einer Verschlußvorrichtung versehen, deren Herstellung den Technikern viel Kopfzerbrechen verursachte, weil sie dem Fortrücken des Stabes keine großen Schwierigkeiten entgegensetzen und doch auch von dem Innern der Röhre die äußere Luft vollständig abhalten sollte.

Alle in der atmosphärischen Eisenbahnfrage gemachten Fortschritte beziehen sich auch fast lediglich auf diesen Verschluß; Prinzip und Ausführung der übrigen Bestandteile waren einfach und blieben ziemlich ungeändert.

War man in den ersten Projekten noch von der Anwendung komprimierter Luft ausgegangen und hatte man deswegen sehr große Röhren für nötig gehalten, in deren Innerm allenfalls Güterwagen auf einer Eisenbahn durch den Kolben befördert werden könnten, während die Reisenden des Luftdrucks wegen die Wagen in freier Luft benutzen sollten, so drehte Vallance die Sache um. Dieser wollte zur Bewegung des Kolbens und der daran hängenden Lasten lediglich den Druck der atmosphärischen Luft benutzen und vor dem Kolben deswegen durch Auspumpen einen luftverdünnten Raum erzeugen. Der Kolben sollte herangesaugt werden, wie das Wasser in einem Strohhalme. Zu Brighton wurden Versuche angestellt. Es war die Rede davon, eine Eisenbahn herzustellen. Die Wagen sollten sich in einem Tunnel von Gußstein oder gebranntem Thon bewegen; aber die Leute lachten, wie es in dem Berichte heißt, über die Unwahrscheinlichkeit, daß sich echte Briten durch eine Röhre wie Kugeln durch eine Schlüsselbüchse würden schießen lassen.

Nach Vallance kam noch ein Amerikaner Pinkus mit einem Pneumatic Railway-Patent. Die vorgeschlagene Röhre hatte 1 m im Durchmesser und war oben mit einem 3—4 cm breiten Schlitz versehen, durch welchen die Einführungsstange ging, ganz wie bei Medhurst. Die Abdichtung der durch die Röhrenwand gehenden Stange gegen das Eindringen der äußeren Luft wurde durch ein Klappentau oder eine schwammige und mit einem eisernen Beschlag niedergehaltene Substanz, welche über dem Schlitz zwischen zwei erhabenen Rändern lag, bewirkt. Aber diese Erfindung, welche wirklich in einem Stück Eisenbahn zur Ausführung kam, erwies sich auch als unpraktisch. Trotzdem gab man die Versuche nicht auf, und 1840 waren die Herren Clegg und Samuda so glücklich, auf der West-London-Eisenbahn ein Stück von 3½ km nach ihrem System einrichten zu können. Ihr System unterschied sich von den früheren in nichts als darin, daß es am allermeisten die Leute um ihr Geld brachte. Denn nachdem die Versuche auf der West-London-Eisenbahn gemacht worden waren und man eine Geschwindigkeit bis zu 60 englischen Meilen in der Stunde erreicht zu haben glaubte, wurden geschwind „atmosphärische Eisenbahnen“ auf der Croydon-, der Dublin- und Kingstown-, wie der Süd-Devonshire-Route eingerichtet — um nach kurzer Zeit wieder aufgegeben zu werden. Inzwischen hatte man in Frankreich von dem neuen Transportmittel Akt genommen und in der ersten Begeisterung, welche die Clegg-Samudaschen Erfolge hervorriefen, die Anlage einer atmosphärischen Versuchseisenbahn von Nanterre nach St. Germain beschlossen. Anstatt der projektierten Strecke von 8 km wurden aber schließlich nur 2½ km ausgeführt, von der Brücke von Montesson bis nach dem Plateau von St. Germain. Die atmosphärische Eisenbahn bildete die Fortsetzung der gewöhnlichen Eisenbahn, welche von Paris bis an die Brücke von Montesson mit Lokomotiven befahren wurde. Der Wechsel des Systems erfolgte so rasch, daß die Reisenden, wenn sie nicht besonders darauf aufmerksam gemacht wurden, gar nichts davon bemerkten. Der atmosphärische Druck hatte das Gewicht der Wagen auf eine ziemliche Höhe empor zu heben, denn der Niveauunterschied zwischen Anfangs- und Endpunkt betrug gegen 50 m, so daß der Rückweg von St. Germain ohne jede Zugkraft lediglich durch das Gewicht der Wagen zurückgelegt wurde. Die Abbildung Fig. 156 zeigt uns einen Personenwagen, wie sie auf dieser atmosphärischen Eisenbahn in Gebrauch waren — kurze Zeit nur, denn im Jahre 1859 wurde der Betrieb derselben wieder eingestellt, die Maschinen demontiert — die Röhren unter das alte Eisen geworfen; die Sache hatte sich als viel zu kostspielig herausgestellt.

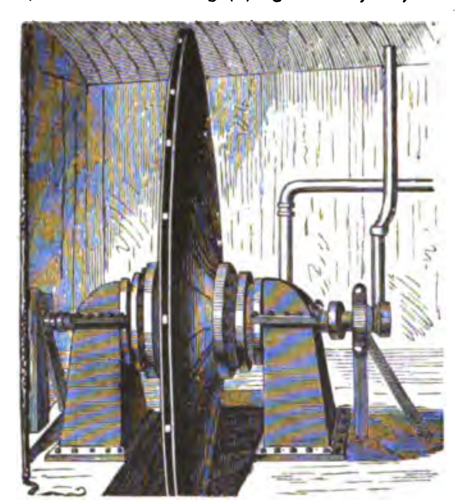


Fig. 161. Luftpumpe der pneumatischen Paketbeförderung in London.

Trotzdem nun diese atmosphärischen Eisenbahnen wohl zu den überwundenen Gegenständen gehören, erfordert es doch das Interesse für geschichtliche Entwickelung, daß wir auf einige Spezialitäten der Einrichtung unsre Aufmerksamkeit lenken. Wir legen die Abbildung Fig. 157 zu Grunde. Die Röhre A, in welcher sich der Kolben B bewegt, ist ungefähr $1/_3$ m dick, dies ist die als günstigst angenommene Weite. Unsre Abbildung zeigt sie zum Teil durchschnitten, um die innere Einrichtung sehen zu lassen, die hauptsächlich in den Rollen HH, dem Gegengewicht M und dem zwischen den Rollen hinaufgehenden Eisenstück besteht, an welchem die Wagen befestigt sind. Das Gegengewicht M sorgt dafür, daß der Kolben B immer eine horizontale Lage behält; die Rollen HH haben verschiedenen Durchmesser und heben vor dem Durchpassieren der Eisenplatte die Klappenventile des Spaltes gerade so hoch, daß der Weg frei wird; dahinter schließen sich die Ventile wieder. Um die Dichtung vollständig zu machen, wurde durch eine besondere Vorrichtung eine Fettschicht über die Ventile geschmiert, die ein erwärmtes Bügeleisen von oben zusammenschmolz.

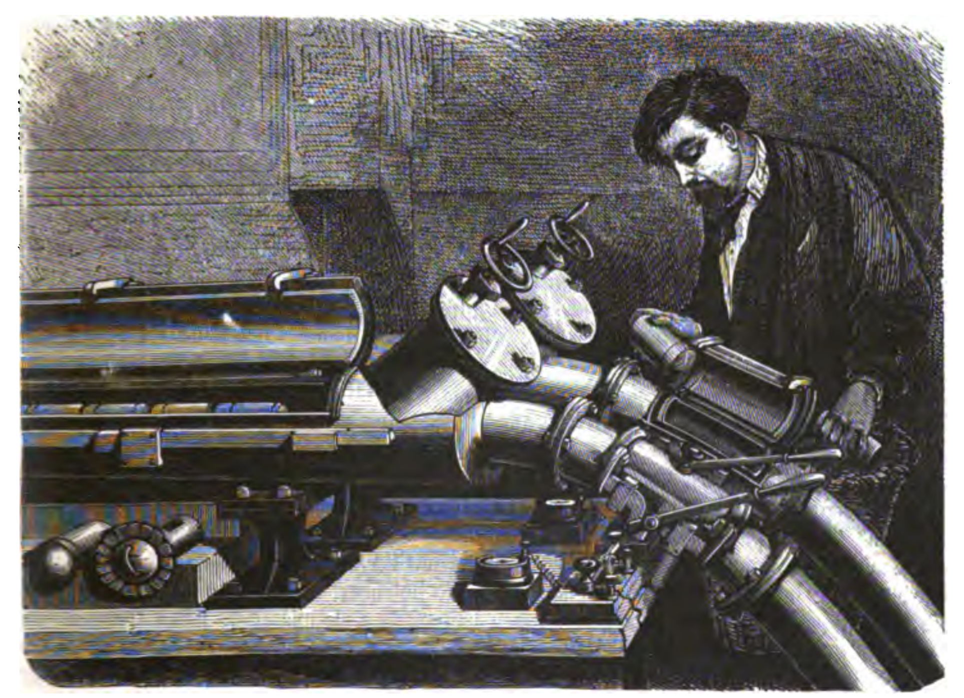


Fig. 162. Station der pneumatischen Depeschenbeförderung in Paris.

Zugleich wurden die Klappen von außen wieder zusammengedrückt. In Fig. 158 wird eben durch ein besonderes Eisen dieser Verschluß hergestellt; die Eisenplatten R, welche während des Durchganges der Eisenplatte C (Fig. 159) offen gehalten werden, fallen dann darauf und schützen diesen wichtigen Teil des Apparates. Fig. 160 stellt die Röhre mit den Rädern der Wagen in dem Maßstabe von Fig. 157, aber im Querdurchschnitt dar.

Die **pneumatische Brief- und Paketbeförderung** schien von vornherein eine bei weitem bessere Zukunft zu haben. Dicht an der Euston-Ankunftsstation in London steht ein einstöckiges Gebäude mit einem schlanken Schornstein. So unansehnlich das Äußere dieses Hauses ist, so merkwürdig und interessant ist sein Inneres. Treten wir ein; wir steigen einige Stufen hinab und stehen vor einer großen gußeisernen Röhre mit gewölbter Decke und flachem Boden. „Das ist das Ende der Luftpost", sagt unser Führer. In demselben Augenblick gibt ein elektrischer Telegraph ein Signal, an der Wand hängende Manometer spielen und deuten an, daß in dem Innern des Röhrentunnels, mit welchem sie in Verbindung stehen, der Luftdruck in gewaltsamer Weise sich ändert. Gleich darauf noch ein Signal. Eine Klappe springt auf und aus der Röhre schießt ein kleiner, wiegenartig gebauter

Wagen, der auf einem Schienstrange auf dem Fußboden wieder fortrollt, bis er an der entgegengesetzten Wand in einer der Hauptröhre korrespondierenden Mauervertiefung seine Geschwindigkeit verliert. Rasch wird er seines Inhalts entledigt und mit schon bereit liegenden Paketen und Beuteln wieder beladen; ein Signal geht ab; der Wagen wird wieder in die Röhre geschoben, die Klappe zugemacht, wir hören noch ein kurzes Rollen und im nächsten Augenblick sagt uns der Beamte mit einem Blick auf das Manometer: „Jetzt sind die Briefe in Eversholt-Street.“ In Eversholt-Street befindet sich das Postamt und dasselbe ist ca. 600 m von dem Punkte entfernt, wo wir jetzt stehen. Zu dieser kleinen Reise, welche einen Fußgänger 10 Minuten beschäftigen würde, braucht der Wagen wenige Sekunden. Nach Bedarf werden an den einen Wagen zwei, drei andre gehängt, ohne daß dadurch die Geschwindigkeit beeinträchtigt würde.

Wir finden nun Zeit, uns den Raum und seine Einrichtung genauer anzusehen. Die Tunnelröhre (s. Fig. 158) mißt etwas über 1 m in der Höhe; sie ist etwas schmäler als hoch und hat ungefähr den Querschnitt eines Bienenkorbes. Auf ihrem Boden laufen die Schienen für die Wagen. Die Wagen entsprechen in ihrem Querschnitt genau dem Querschnitt der Röhre, nur daß sie noch um einige Linien kleiner sind und demnach den Raum nicht vollständig abschließen.

Außerhalb des Gebäudes geht die Röhre unter Straßen und Häusern fort, unbeirrt von Senkung oder Steigung, die an einer Stelle das Verhältnis 1 : 80 erreicht. An dem andern Ende im Postamte ist die Einrichtung der Station eine ganz entsprechende wie auf der Euston-Station. Nur den Besitz des einen, und zwar gerade des Hauptteils, das ist die Bewegungsmaschinerie, hat die Euston-Station voraus.

Wir haben uns erzählen lassen, daß die Wagen ihre Geschwindigkeit teils durch den Druck der atmosphärischen Luft auf einen luftverdünnten Raum, teils durch die Wirkung komprimierter Luft erhalten, und suchen die Luftpumpe und die Kompressionspumpe, die wir uns von enormen Dimensionen vorstellen. Allein eine Lufpumpe, wie wir sie bisher kennen gelernt haben, finden wir nicht.

Wir sehen eine große Scheibe von mehr als 6 m im Durchmesser; sie ist aus Kesselblech gefertigt und besteht eigentlich aus zwei dünnen konkaven Scheiben, die einander ihre hohlen Seiten zukehren (s. Fig, 161). An ihrem Rande stehen sie etwa 3 cm auseinander. „Das ist die Luftpumpe“, der „Pneumatic Ejector“. Da englische Beamte nie einen Witz machen, so glauben wir ihm aufs Wort, nur bitten wir ihn um nähere Aufklärung. Diese wird uns und wir erfahren, daß die Welle dieses Ejektors hohl ist und mit dem Innern der Tunnelröhre sowie durch einen andern Hahn mit der äußeren Luft in Verbindung steht. Wird dieselbe in sehr rasche Umdrehung versetzt, so schleudert das scheibenförmige Rad durch die Zentrifugalkraft die zwischen den Blechen befindliche Luft wie einen festen Körper nach außen und verdünnt auf diese Weise die Luft im Innern der Tunnelröhre. Am Umfange der Scheiben ist nun ein Gehäuse, welches die fortgeschleuderte Luft aufnimmt; in demselben muß also eine entsprechende Verdichtung entstehen, die ihrerseits ebenso zur Beförderung der Wagen benutzt werden kann, wenn man die benötigte Luft nicht dem Innern der Röhre, sondern dem äußeren Luftkreise entzieht. Eine einfache Stellung des Hahnes läßt die Bewegung der Wagen nach herzu oder hinzu beliebig abändern. Diese eigentümliche Zentrifugalluftpumpe wird durch eine kleine Hochdruckmaschine — mit einem Cylinder von 4 dm im Durchmesser — in Bewegung gesetzt, dessen Kolben direkt an die Welle des Luftrades angreift. Neben der Maschine liegt ein cylindrischer Kessel mit innerer Feuerung, welcher Dampf von 2 kg pro Quadratzentimeter liefert.

Trotzdem, daß der Dampfkonsum noch ein viel zu großer ist, weil die Maschine für eine weiter fortgeführte Röhrenleitung berechnet ist, stellt sich der tägliche Verbrauch an Brennmaterial nur auf 6 Schillinge, so daß die Heizungskosten für eine Doppelfahrt (bei täglich 15 Wagenzügen hin und zurück) auf ungefähr 40 Pfennige zu stehen kommen. Diese Unternehmung war die erste ihrer Art und von einer Gesellschaft, der Pneumatic Despatch Company, ausgegangen.

Mittlerweile sind die dabei gemachten günstigen Resultate die Veranlassung geworden, auch anderwärts ähnliche Beförderungen einzurichten.

In Paris hat man dasselbe Beförderungsmittel für Depeschen im Innern der Stadt in Ausführung gebracht. Das unterirdische Röhrennetz, welches an den belebtesten Punkten Stationen hat, bestand im Jahre 1873 aus 16 Röhren, deren jede eine Länge von 1200 m hatte; die Gesamtlänge betrug also gegen 19 km. Anfang und Ende je zweier Röhren stoßen in einer Station zusammen, deren es ebenfalls 16 gibt. Die Depeschen sind in kleine Büchsen verschlossen, welche mittels einer ledernen Liderung den Innenraum der Röhre ganz ausfüllen und durch den Druck der Luft in derselben fortgestoßen werden.

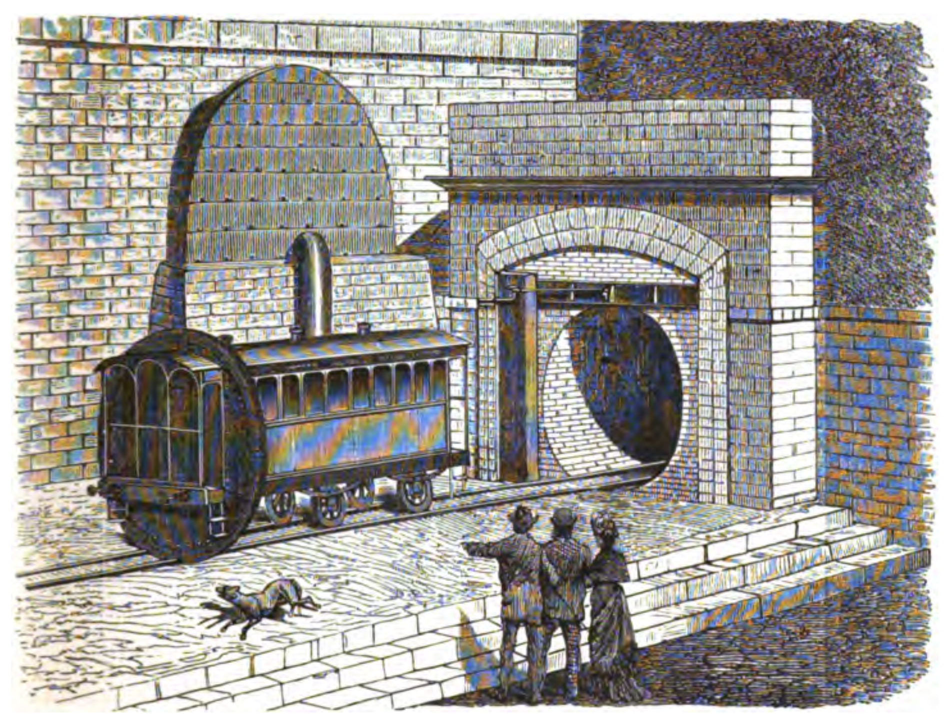


Fig. 168. Eingang in den Tunnel der pneumatischen Eisenbahn zwischen London und Sydenham.

Die Reibung ist so unbedeutend, daß es nur geringer Kraft bedarf, den Transport der Depeschen mit ziemlicher Geschwindigkeit zu besorgen. Von der Ankunft eines Zuges — denn es wird nicht eine einzelne Depesche nur auf einmal besorgt, sondern es erfolgt eine periodische Expedition, welche dann immer einen ganzen Train beansprucht — benachrichtigt ein elektrisches Signal den Beamten, der nur die Thür der Röhre zu öffnen hat, um gleich darauf die Depeschenbüchsen darin erscheinen zu sehen; sie werden herausgenommen, durch solche ersetzt, welche der Absendung nach der betreffenden Station harren — das Zeichen wird gegeben, ein Hahn gedreht, der die Verbindung mit der Luftpumpe herstellt, und fort fliegt die Masse der Nachrichten nach der nächsten Station, von wo sie entweder ausgetragen oder durch einen andern Röhrenstrang nach einer andern Richtung befördert wird. Selbstredend hat diese Art der Depeschenbeförderung mit dem elektrischen Telegraphen gar nichts weiter zu thun, als daß etwa behufs der Signalgebung der elektrische Draht zur Mitarbeit herangezogen wird. Die Depeschen werden geschrieben und versiegelt aufgegeben und in natura in die Hände des Adressaten abgeliefert. Auch in Berlin besteht eine pneumatische Briefbeförderung, die sogenannte Rohrpost. Gegenwärtig sind in Berlin 23 Rohrpostämter über die ganze Stadt verbreitet. Die schmiedeeisernen, mit 65 mm innerm Durchmesser ausgestatteten Röhren werden per 20 Büchsen, von denen jede 20 Briefe, Telegramme und Postkarten aufnehmen kann, mit einem Male befördert, und zwar mit einer Geschwindigkeit von 1000 m in der Minute. Im Jahre 1879 haben schon 300000, im Jahre 1880

schon 500000 Rohrpostsendungen stattgefunden. In vier Jahren hat nur eine einzige kurze Betriebsstörung stattgefunden, was von der Güte der durch Crespin & von Felbinger ausgeführten Anlage Zeugnis gibt. — Die Röhrenleitung vermittelt bis jetzt den Stadtpostbetrieb. Ob es gelingen wird, das für geringe Entfernungen glänzend bewährte Prinzip auch auf große Distanzen auszudehnen, das muß die Zukunft zeigen. Die Unmöglichkeit liegt nicht vor, und wenn das Projekt einer untermeerischen Eisenbahn zwischen England und Frankreich in der That zur Ausführung kommen sollte, so würde der Tunnel, welcher das britische Inselreich mit dem Festlande verbinden soll, zweckmäßigerweise auch dazu dienen können, durch Aufnahme von Röhrenleitungen eine fast unausgesetzte Briefbeförderung zu unterhalten.

In England ist von W. Rammel dieses Prinzip auf die Beförderung nicht nur größerer Gewichte, sondern auch auf den Personentransport angewandt worden. Indem er die bei der pneumatischen Briefbeförderung dienenden Röhren entsprechend vergrößerte, konnte er an Stelle der kleinen Gepäckwagen vollständige Personenwagen setzen. Zur Erklärung ist dem Gesagten nichts weiter hinzuzufügen, als etwa, daß die große Oberfläche, welche der Stempel dem Druck der atmosphärischen Luft darbietet, mit einer verhältnismäßig geringen Luftverdünnung auskommen läßt. Ist bei der pneumatischen Depeschenbeförderung in engen Röhren der Druck nahe an $1/_2$ Atmosphäre, so braucht er hier nur etwa den hundertsten Teil einer Atmosphäre zu betragen oder mit 100 kg auf 1 qm Oberfläche zu drücken, um die Wagen fort zu bewegen. Die Röhre wurde als ein Tunnel in Ziegelbau ausgeführt. Die Wagen, welche zwischen London und Sydenham die Tour seit 1865 machten, glichen langen Omnibuswagen und waren elegant ausgestattet. In unsern Tagen, wo alles sich rasch überlebt, ist nun aber zum großen Teil die Elektrizität schon wieder an die Stelle der pneumatischen Kraft getreten. Das Telephon hat den direkten pneumatischen Depeschenverkehr so gut wie aufgelöst. Für Beförderung von Paketen besteht die pneumatische Post ja noch — wie lange wird es aber dauern, so wird sie auch auf diesem Gebiete nur noch der Geschichte angehören.

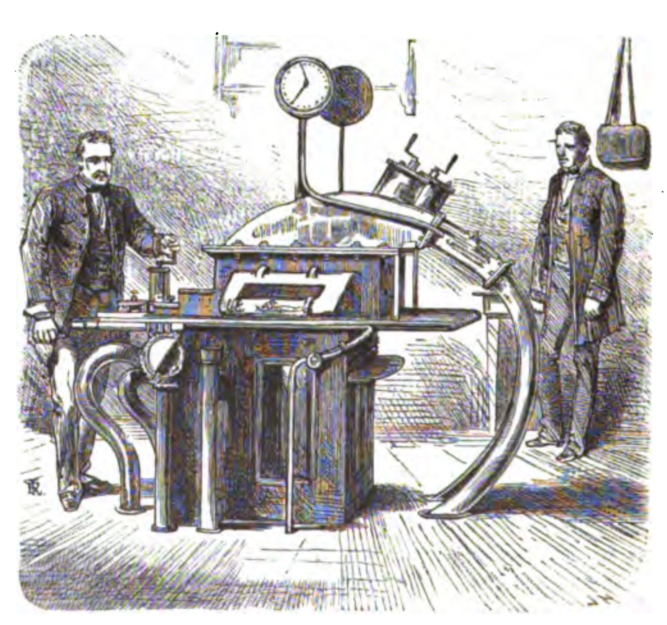


Fig. 164. Rohrpostamt in Berlin.



Denn alle Kraft dringt vorwärts in die Weite
Zu leben und zu wirken hier und dort.
Dagegen engt und hemmt von jeder Seite
Der Strom der Welt und reißt uns mit sich fort.

Goethe.

Hydraulische Maschinen, Pumpen und Feuerspritzen.

Hydrostatischer Druck. Horizont. Die Wasserwage und das Nivellieren. Gesetz der kommunizierenden Röhren. Springbrunnen. Wassersäulenmaschine. Heber. Stech- und Saugheber. Wasserräder. Segnersches Wasserrad. Turbinen. Wasserhebungsmaschinen. Schöpfräder. Paternosterwerke. Wasserschnecke. Die Pumpe. Ventile. Saug-, Druck- und gemischte Pumpe. Zentrifugalpumpe. Kapselpumpe. Der hydraulische Widder. Berliner Wasserwerke. Die Austrocknung des Haarlemer Meeres und die dabei angewandten Maschinen. Projektierte Austrocknung des Zuidersees. Feuerspritzen. Der Windkessel. Spritzflasche und Heronsbrunnen. Innere Einrichtung der Spritze. Repsoldsche Spritze. Dampfspritze. Die hydraulische Presse.

Wenn bei den festen Körpern die kleinsten Teilchen der Materie mit einer gewissen Beständigkeit in ihrer gegenseitigen Lage verbleiben, so daß es einer oft bedeutenden Kraft bedarf, um sie zu trennen, bei den gasförmigen aber, wie uns das Verhalten im luftleeren Raume belehrt, dieselben förmlich voneinander abgestoßen werden und immer das Bestreben haben, sich voneinander zu entfernen, woran sie nur durch eine von außen auf sie einwirkende Kraft gehindert werden, so stehen bei den Flüssigkeiten die anziehenden und abstoßenden Kräfte der Atome zu einander in ganz anderm Verhältnis. Sie stoßen einander nicht gerade ab, aber ihr Zusammenhang ist ein so loser, daß durch den geringsten äußeren Anstoß eine Verschiebung bemerkt wird.

Eine eigentümliche Gestalt kommt daher auch den flüssigen Körpern nicht zu. Sie richten sich darin ganz nach der Form ihrer Unterlage, der Gefäße, in denen sie sich befinden. Ihre Oberfläche wird durch die Schwerkraft der Erde geformt. Die Oberfläche der großen Meeresbecken nähert sich daher auch auf das nächste der idealen Form des

Erdsphäroids, wie ein solches als Ergebnis gleichzeitiger Wirkung der Schwerkraft und der Zentrifugalkraft entstehen würde.

Wer einen großen See gesehen hat, wird die Krümmung der Wasseroberfläche an dem allmählichen Auftauchen und Verschwinden der Schiffe am Horizont beobachtet haben. Bei Oberflächen von geringerer Ausdehnung macht sich die Krümmung nicht bemerklich, und dieselben sind deshalb als gerade Flächen zu betrachten, welche in einer auf das Bleilot senkrechten Ebene, der Horizontalebene, liegen. Eine freistehende Flüssigkeit ist nur dann im Gleichgewicht, wenn sie mit ihrem Spiegel eine horizontale Ebene bildet.

Bei der Errichtung jeder Art von Bauwerken ist die Ermittelung der horizontalen Fläche von der größten Wichtigkeit. Man bedient sich dazu mit dem besten Erfolge des Wasserspiegels als eines Richtmaßes, und es muß die Wasserwage schon den alten Ägyptern bekannt gewesen sein, wie die Anlagen ihrer künstlichen Bewässerungsanstalten zeigen. Der mythische Menes, wahrscheinlich eine und dieselbe Person mit Osiris, leitete den Nil in einen andern Weg; Schleusen und Dämme wurden angelegt und der See Möris als ein großes Wasserreservoir ausgegraben; weitere Verzweigungen der Nilkanäle nahm Sesostris vor, und ein Suezkanal existierte schon im grauen Altertum — solche Arbeiten konnten nur vermittelst guter Nivellierinstrumente ausgeführt werden.

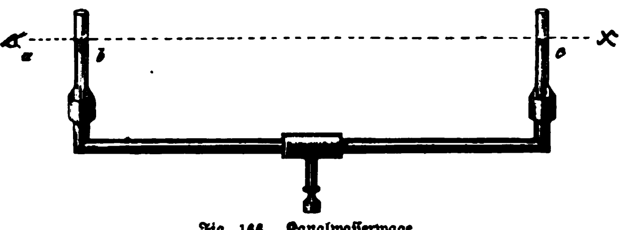
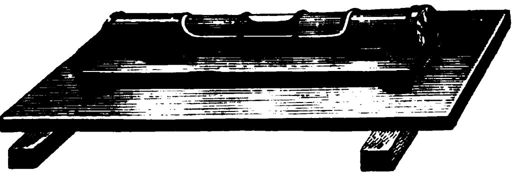


Fig. 166. Kanalwasserwage.
a Auge, bc Oberfläche des Wassers, x Gegenstand.

Eines der ältesten dieser Instrumente ist die Kanalwasserwage. Es ist im wesentlichen eine mit Wasser gefüllte Röhre, welche in horizontaler Lage auf einem Stativ befestigt wird und an ihren Enden zwei aufrecht stehende gläserne Röhren trägt. Visiert man nun über die Oberflächen bei den Röhren nach einem entfernten Punkte, und liegt dieser Punkt in der Visierlinie, so liegt er auch in gleicher Höhe mit den Oberflächen des Wassers. Das Höher- oder Tieferliegen eines solchen Punktes läßt sich dann mittels eines senkrechten Maßstabes bemessen. Picard fügte dieser Einrichtung noch Fernröhre bei, wodurch jene Wage besonders für den Gebrauch beim Feldmessen und Nivellieren passend gemacht werden kann.

Jetzt wird die Wasserwage in verschiedener Weise hergestellt, z. B. als eine gerade, an beiden Enden verschlossene gläserne Röhre, welche in der Mitte ein klein wenig weiter geschliffen und bis auf eine kleine Luftblase mit Wasser gefüllt ist (Fig. 167). Liegt die Röhre horizontal, so steht die Blase genau in der Mitte an einer Marke. Die geringste Neigung hat ein Verschieben der leicht beweglichen Blase nach der Höhe zu zur Folge. Um mit ihrer Hilfe aber eine Fläche in die Horizontale einzustellen, muß man die Wage nach zwei aufeinander rechtwinkeligen Richtungen auflegen. Das ist unbequem. Es sind daher dosenförmige Instrumente konstruiert worden (zuerst von Mayer 1777), bei denen die Blase sich unter einer Glasdecke nach allen Richtungen bewegen kann; befindet sie sich gerade in der Mitte, so steht die Unterlage horizontal. Wasserwagen mit beweglicher Blase heißen auch Libellen (von libra, die Wage), ein Name, welcher aber auch nach andrer Richtung ihre empfindliche Unruhe sehr entsprechend bezeichnet. Sie beruhen auf demselben Gesetz wie die Kanalwage.


Fig. 167. Wasserwage.

Es bedarf wohl keiner besonderen Begründung der Erscheinung, daß in einer Uförmig gebogenen Röhre das Wasser in beiden Schenkeln gleichhoch stehen muß. Der Druck muß stets dem Gegendruck gleich sein, und das Barometer hat uns schon einen ganz speziellen Fall hiervon erläutert. Die Form der Schenkel, der kommunizierenden Röhren, wie man sie nennt, ist durchaus gleichgültig; seien sie gebogen oder schiefwinkelig geneigt, immer

liegen, wenn die Luft von oben Zutritt hat, die beiden Spiegel in derselben horizontalen Ebene. In dem Strahl eines Springbrunnens sucht das Wasser auf dieselbe Höhe wieder zu steigen, von welcher es die Röhrenleitung herabgeführt hat (Fig. 168), und die artesischen Brunnen sind nichts andres als kommunizierende Röhren, deren einer Schenkel durch das Bohrloch, deren andrer durch die Zwischenräume in der wasserführenden Schicht gebildet wird. Bei allen gilt das gemeinsame Gesetz: In einer zusammenhängenden Wassermasse streben alle Teile der Oberfläche danach, eine und dieselbe Horizontalebene zu erreichen.

Hydraulische Maschinen. Die leichte Beweglichkeit der kleinsten Teilchen der Flüssigkeiten ist Ursache einer Anzahl von Erscheinungen, deren Betrachtung wichtig ist. So pflanzt sich z. B. in einer Flüssigkeit ein Druck, welcher in irgend einem Punkte auf dieselbe ausgeübt wird, nach allen Seiten hin gleichmäßig fort. Aus diesem Verhalten erwachsen die merkwürdigsten Folgen, und wir können alle Erscheinungen und Anwendungen der Hydraulik schließlich auf dieses Grundprinzip zurückführen. Ist die Flüssigkeitsmasse — solche wollen wir in Zukunft immer als aus Wasser bestehend annehmen — eingeschlossen, so können wir leicht durch den Augenschein uns überzeugen, daß der Druck, welcher auf irgend eine Seite ausgeübt wird, sich durch die ganze Masse der Flüssigkeit fortsetzt und gegen alle Punkte der Wandung mit gleicher Stärke wirkt.

Ein interessantes Beispiel dafür liefert der hydrostatische Heber. Man denke sich eine Blase oder einen ledernen Schlauch, zum Teil mit Wasser gefüllt und mit einer nach oben zu offenen, langen Röhre in Verbindung. Für gewöhnlich steht in dieser Röhre das Wasser nicht viel höher, als der höchste Punkt der Blase angibt. Gießt man nun durch das offene Ende Wasser zu, so daß die Druckhöhe in der Röhre größer wird, dann schwillt die Blase an. Das Wasser will in ihr eben so hoch stehen wie in der Röhre, und es drückt, wenn es dies nicht erreicht, auf alle Punkte der Innenfläche mit einer Kraft, welche der Druckhöhe des Wassers in der Röhre entspricht; diese selbst mag dabei so eng sein, wie sie will. Eine geringe Wassermasse kann sonach einen ungeheuren Druck hervorbringen, große Lasten heben, freilich aber nur um entsprechend geringe Höhen, denn je kleiner der Durchmesser der Röhre ist, um so rascher senkt sich darin die Wassersäule, wenn durch den Hub der Oberfläche das andre Gefäß aus der Röhre Wasser aufnimmt.

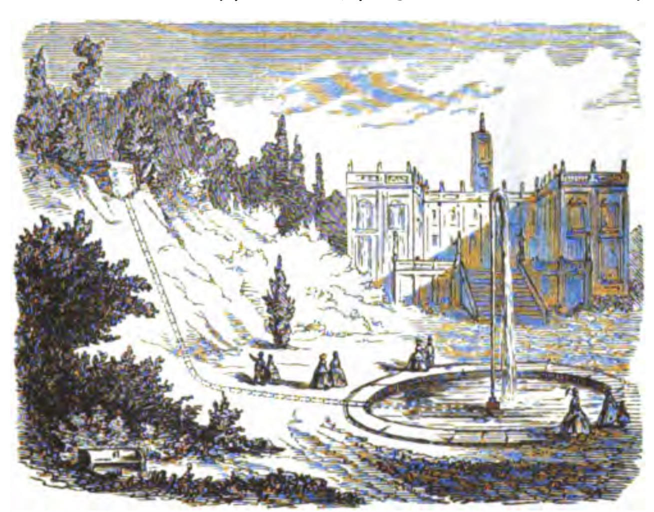


Fig. 168. Der Springbrunnen.

Die Wassersäulenmaschinen, welche am häufigsten in Bergwerken, wo sehr hohe Gefälle zur Verfügung stehen, angewandt werden, beruhen auf diesem Prinzip. Es wird bei ihnen durch den Druck einer hohen Wassersäule der Kolben eines Cylinders in Bewegung gesetzt, der, nachdem das treibende Wasser zuerst von dem Fallrohr abgesperrt und nachher aus dem Cylinder abgelassen worden ist, durch seine Schwere wieder zurückgeht und das Spiel von neuem aufnimmt, wenn die Absperrung der Wassersäule aufgehoben wird. Das Wesen dieser Maschine kehrt in der Dampfmaschine wieder, nur daß dort statt Wasserdruck die Dampfspannung die bewegende Kraft ist. Man kann, wie leicht einzusehen, die Wassersäulenmaschine auch so einrichten, daß man den Rückgang des Kolbens nicht bloß durch die eigne Schwere bewirken, sondern außerdem durch den Druck des Wassers verstärken läßt, das man in diesem Falle einmal unterhalb, das andre Mal oberhalb des Kolbens in den Cylinder treten lassen muß. Die erste Wassersäulenmaschine soll von Denizard und de la

Duaille 1731 erbaut worden sein. Ganz besonders großartige Werke dieser Art bestehen bei Illsang in Bayern, durch v. Reichenbach angelegt, welche die Sole, die in Berchtesgaden nicht versotten werden kann, über die Berge heben und bis Reichenhall und Rosenheim leiten.

Fig. 169. Stechheber.

Das Gesetz vom Luftdruck sowie dasjenige von der Fortpflanzung des Druckes in Flüssigkeiten — weiter brauchen wir eigentlich für das Verständnis des Folgenden nichts zu kennen.

Die **Heber** sind unbedingt die einfachsten Apparate, welche uns die hydraulischen Gesetze vor Augen führen können. In dem bekannten Stechheber (Fig. 169) ist es bloß der Druck der äußeren Luft, der die Flüssigkeit im Innern erhält. Steckt man das längliche Gefäß mit seiner unteren Öffnung in eine Flüssigkeit, während die obere Öffnung frei ist, so füllt es sich bis zur Höhe des äußeren Spiegels, und es läuft nichts heraus, wenn man die obere Öffnung mit dem Daumen verschließt, auch wenn man den Heber aus dem Fasse herauszieht; erst wenn der Daumen gelockert wird und die Luft von oben auf den Spiegel drückt, entleert sich der Stechheber.

Der zweischenkelige Heber (Fig. 170) muß angesaugt werden, wenn er sich mit Flüssigkeit füllen soll. Er besteht aus zwei ungleich langen Schenkeln, von denen der längere außerhalb der Flüssigkeit liegt. Wenn man bloß so lange saugt, als in demselben die Flüssigkeit genau bis in das Niveau von h herabsteigt, so sind alle Druckverhältnisse innen und außen im Gleichgewicht, und es wird aus dem offenen Rohre weder etwas ausfließen, noch auch die Flüssigkeit in das Gefäß zurücktreten. Sobald aber auf der einen oder andern Seite der Druck sich ändert, ändert sich auch das Verhalten der Flüssigkeit. Sie tritt ganz in das Gefäß zurück, wenn sie im äußeren Schenkel nicht ganz das Niveau der inneren Oberfläche h erreicht, sie fließt aber aus, wenn sie weiter herabreicht. Gesetzt, der Heber wäre bis b gefüllt, so würde alle Flüssigkeit unterhalb des Spiegels h im langen Schenkel frei ihrer Schwere folgen und herabfallen. In den dadurch entstehenden luftleeren Raum aber drückt die auf h lastende Atmosphäre sogleich das Wasser aus dem Gefäße, und es erfolgt ein unausgesetztes Ausströmen, welches so lange dauert, als das untere Ende a noch in der Flüssigkeit steht. Um das Ansaugen zu erleichtern und sich sicher zu stellen, daß man nicht von den oft schädlichen Flüssigkeiten, die mittels des Hebers abzuziehen sind, Partien in den Mund bekommt, hat man durch Anbringung besonderer Saugröhren diesem Instrument mancherlei Abänderungen gegeben, von denen wir die einfachste in Fig. 171 vorführen. Soll Flüssigkeit aus dem Gefäße A mittels des Hebers zum Ausfließen gebracht werden, so saugt man, indem die Öffnung b verschlossen wird, so lange bei c, bis die Flüssigkeit aus a in dem zweiten Schenkel unter dem Spiegel im Gefäß A steht. Von diesem Augenblicke an kann man die Öffnung c frei geben und mit Saugen aufhören. Das Wasser fließt von selbst, gerade wie aus einem gewöhnlichen, zweischenkeligen Heber, dessen längerer Schenkel bis an die Ansatzstelle der Saugröhre reicht.



Fig. 170. Saugheber.



Fig. 171. Saugheber mit besonderer Saugröhre.

Mit heberartigen Vorrichtungen kann man beträchtliche Wassermengen gewissermaßen über den Berg fließen machen. Es kommt nur darauf an, einen geschlossenen Kanal herzustellen, den das Wasser wie eine Röhre ausfüllt, in welchen also die Luft nicht eindringen kann, und das Ende desselben tiefer zu führen als den auf der andern Seite des Berges liegenden Wasserspiegel; freilich darf nach den früher schon erkannten Gesetzen über den atmosphärischen Druck die zu übersteigende Höhe nicht mehr als höchstens etwa 9 m betragen.

Gehen wir dem natürlichen Wege nach, den das Wasser unaufhörlich durchläuft, so sehen wir es von der Oberfläche des Meeres und der Flüsse, von den Blättern der Pflanzen, aus den Lungen der atmenden Tierwelt als flüchtigen Dampf sich der Atmosphäre beimischen; in den oberen kalten Regionen verdichtet sich derselbe und schlägt sich an den hohen Kämmen der Gebirge in flüssiger Form nieder. Die Tröpfchen rinnen zusammen und fließen abwärts, bis sie das Meer wieder erreichen, wenn sie nicht vorher von den Wurzeln aufgesaugt oder auf sonst eine Weise in die Atmosphäre zurückgehaucht werden. Auf dem langen Wege zum Meere folgt das Wasser lediglich der Schwere und, je nach der Neigung der schiefen Ebene, auf welcher es in dem Bett der Flüsse hinabgleitet, mit größerer oder geringerer Geschwindigkeit. Die Kraft, die es hierbei aufnimmt und die es, wenn seine Geschwindigkeit plötzlich aufgehoben wird, wieder hergeben muß, benutzen wir in den verschiedenartig eingerichteten Wasserrädern. Je nachdem das Wasser von oben oder in der Mitte in die Schaufeln fällt und dieselben durch sein Gewicht mit hinabzieht, oder je nachdem es bloß unten durch die Geschwindigkeit seiner Strömung gegen dieselben stößt, spricht man von ober-, mittel- und unterschlächtigen Wasserrädern. Die Einrichtung dieser Maschinen ist so bekannt, daß wir uns unter Hinweis auf die beiden Figuren 172 und 173 jede weitere Erläuterung ersparen können.

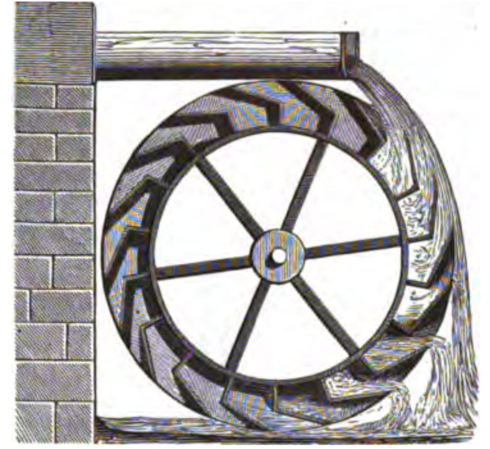


Fig. 172. Oberschlächtiges Wasserrad.

Turbinen. Während bei den oberschlächtigen Wasserrädern das Wasser lediglich durch sein Gewicht wirkt, übt es bei den mittelschlächtigen schon ganz besonders — ausschließlich aber bei den unterschlächtigen — durch seine Stoßgeschwindigkeit, durch seine lebendige Kraft die Wirkung aus. Mit Vorteil läßt sich nun dieser Effekt des Wassers in horizontal liegenden Rädern ausnutzen. — Die sogenannten Spritz- oder Strauberräder sind alte Vorrichtungen dieser Art. Eine stehende, in Zapfen drehbare Welle hat an ihrem Umfange löffelähnliche Schaufeln, in welche der Wasserstrahl horizontal einströmt. Die Kufenräder entsprechen in ihrer Form ungefähr den Windrädchen, die man zuweilen des Luftwechsels halber in Fenstern anbringt, nur daß bei diesen der Wind von vorn, bei den Kufenrädern dagegen das Wasser von der Seite, und zwar in tangentialer Richtung, in das Rad einströmt und die Umdrehung bewirkt, indem es mit der ihm innewohnenden Kraft auf die schief gestellten Flügel drückt. Beide Motoren geben aber sehr geringe Nutzeffekte und sind den Turbinen darin nicht zu vergleichen.

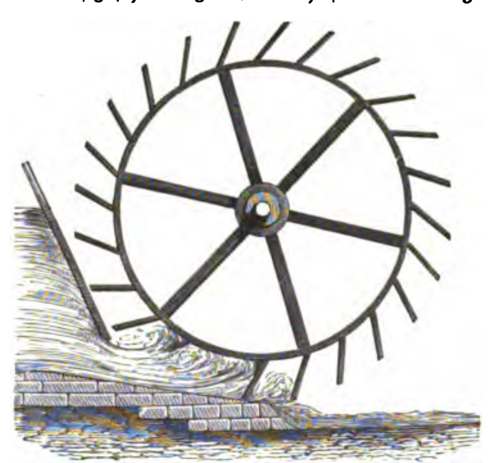


Fig. 173. Unterschlächtiges Wasserrad.

Die erste Idee der Turbinen ist in dem Segnerschen Wasserrade ausgesprochen. Dasselbe gründet sich auf die sogenannte rückwirkende Kraft, das ist eine eigentümliche einseitige Druckwirkung, deren wir schon gedacht haben, als von dem Projekt die Rede war, den Luftballon durch Ausströmenlassen von stark gespannter Kohlensäure raketenartig fortzutreiben. Ein Geschoß, wenn es abgefeuert wird, übt nach hinten einen Stoß aus; Kanonen prallen weit zurück, wenn sie nicht festgebunden sind. Die Ursache davon liegt darin, daß, wenn ein nach allen Seiten wirkender Druck Gelegenheit findet, nach der einen

Richtung sich auszugleichen, nach der entgegengesetzten ein entsprechender Überschuß bleiben muß. Derselbe sucht natürlich seinerseits auch einen Effekt auszuüben, welcher der Bewegungsrichtung des Geschosses, der Pulvergase ɪc. entgegengesetzt gerichtet sein wird. Bei dem Segnerschen Wasserrade tritt Wasser in eine hohle Achse, aus dieser in die innere Höhlung eines dicht anschließenden Radmantels. An dem hohlen Rade befinden sich hörnerartige Vorsprünge, die alle in demselben Sinne horizontal gebogen sind und am äußersten Ende eine Öffnung senkrecht auf den Durchmesser haben. Aus diesen Öffnungen fließt in tangentialer Richtung das Wasser aus, welches durch die hohle Achse in den Radkörper und von da in die Hörner eintritt, und der durch den Austritt des Wassers einseitig aufgehobene Druck, den es durch sein Gefälle erreicht hat, bewirkt eine Drehung des Rades, die, entgegengesetzt der Richtung des ausfließenden Wassers, um so rascher ist, je rascher dasselbe strömt.

Manche Spielereien auf Springbrunnen, die durch das ausfließende Wasser in Umdrehung versetzt werden, ebenso Illuminationsvorrichtungen, an denen das ausströmende und in zahlreichen kleinen Flämmchen brennende Gas die Drehung bewirkt, sind Beispiele, die dasselbe Prinzip illustrieren. In neuester Zeit hat man das Prinzip sogar auf die Fortbewegung von Dampfschiffen angewandt, indem man der Dampfmaschine nicht mehr die Umdrehung einer Radwelle oder einer Schraubenspindel zumutet, sondern vielmehr die Hebung von Wasser und die Auspressung desselben unter großem Druck aus Röhrenöffnungen, die zu beiden Seiten des Schiffes nach hinten zu gerichtet sind. — Die Repulsion treibt das Schiff nach vorn und wenn auch die Kraftausnutzung solcher Art nicht sehr vollkommen stattfinden kann, so sind die große Vereinfachung des Propellers, die leichtere Erneuerung desselben die in freier Luft über dem Wasserspiegel geschehen kann und die größere Manövrierfähigkeit solcher Schiffe doch Vorteile, welche die Anwendbarkeit dieses Systems vielleicht für gewisse Fälle nützlich erscheinen lassen.

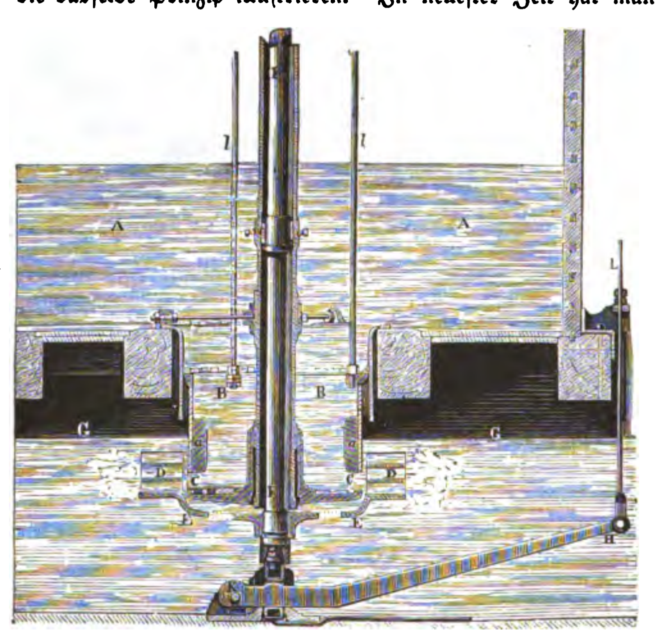


Fig. 174. Vertikaldurchschnitt einer Turbine.

In den schottischen Turbinen, welche seit den dreißiger Jahren in Aufnahme gekommen sind, hat man das Segnersche Wasserrad, welches sein Erfinder zum Betriebe einer Papiermaschine aufgestellt hatte, mit wenigen Abänderungen beibehalten.

In späterer Zeit erlitt zuerst die Ausflußöffnung mancherlei Modifikationen. Man ließ die Wassermasse nach unten zu auf schraubengangförmig gestaltete Flügel drücken, oder man brachte eigentümliche Radkränze an und wies dem Wasser durch besondere Führungen erst einen Weg, der es in der geeignetsten Weise in die Schaufeln einführt und möglichst die ganze Kraft von dem Rade aufnehmen läßt (Fourneyron). Fig. 174 wird das Nähere deutlich machen. AA ist das Betriebswasser, welches nur ein Gefälle bis G besitzt. Es fällt zunächst in den hohlen Cylinder BB und aus diesem erst durch die Öffnungen CC in den Abflußraum G. Durch den — mittels Hebelstangen stellbaren — Schutz aa kann der Abfluß reguliert werden. Vor der Öffnung CC liegt der Radkranz DD, dessen gekrümmte Schaufeln den Stoß des Wassers aufnehmen. Er ist mittels des gebogenen Teiles EE mit der Achse F verbunden; die Drehung derselben setzt die anhängenden Maschinen in

Bewegung. LH ist ein Hebel, um die Lagerpfanne der Achse einigermaßen heben oder senken zu können. Da man die Beobachtung gemacht hat, daß die Kraft der radial herausschießenden Wasserstrahlen nicht so leicht auszunutzen ist, so zwingt man, wie gesagt, dieselben, in einer mehr tangentialen Richtung aus dem Cylinder gegen die Schaufeln des Laufrades zu stoßen. Wir geben, um auch dies durch eine Abbildung zu erläutern, in Fig. 175 einen Horizontaldurchschnitt des unteren Cylinderteiles B mit dem Laufrade, welches letztere durch den äußeren Schaufelkranz D dargestellt ist.

Der Vorteil der Turbinen liegt darin, daß man durch sie die Kraft einer großen Wassermasse von wenig Gefälle, umgekehrt aber auch bei entsprechend veränderter Einrichtung das hohe Gefälle einer geringen Wassermenge am besten ausnutzen kann. Es bleibt sich ziemlich gleich, ob das Laufrad sich in Wasser oder Luft dreht; dieser Umstand erlaubt, das ganze Gefälle zu verbrauchen, außerdem aber auch das Rad tief ins Wasser zu legen und dadurch vor dem Einfrieren zu schützen. Die horizontalen Wasserräder sind da besonders anwendbar, wo es sich um die Erreichung sehr großer Geschwindigkeit handelt, also vorzüglich in Spinnereien, Webereien, Sägemühlen u. dergl. Die zuletzt betrachteten verdanken ihre Vervollkommnung, infolge deren sie die schottischen in ihrer Wirksamkeit bedeutend übertreffen, dem Ingenieur Jonval und führen auch seinen Namen.

Wasserhebungsmaschinen. Betrachten wir nun diejenigen Apparate, welche, entgegengesetzt den Wasserrädern, nicht durch fallendes Wasser bewegt werden sollen, sondern die mit Hilfe einer angreifenden Kraft Wasser auf einen höher gelegenen Punkt emporheben sollen. Solche Wasserhebungsmaschinen stammen aus den ältesten Zeiten. Wir sehen den urgeschichtlichen Ziehbrunnen mit Schwengel oder Haspel noch in Anwendung, eigentlich weiter nichts als eine Vorrichtung, welche dem Schöpfenden einen längern Arm leiht; dann ein Sortiment einfacher Maschinen, welche sich als Zusammenstellungen einer größeren Zahl von Schöpfgefäßen kennzeichnen und nur auf gewisse beschränkte Höhen brauchbar sind; so die Schöpfräder, die sich vor Jahrtausenden, wie heute noch am Nil, in indischen und anderen Flüssen drehten, um die benachbarten Felder zu tränken. Schöpfräder werden häufig auch zum Entwässern benutzt, besonders in den holländischen und deutschen Niederungen, wo sie meistens durch Windmühlen getrieben werden. Die gebräuchlichste Form ist hier nicht eine solche, wo der Radumfang mit schöpfenden Käften oder Zellen besetzt ist, sondern das Rad hat Schaufeln wie ein unterschlächtiges Wasserrad, hängt auch wohl wie dieses vor einem Gerinne, das ein Stück seines Umfanges umgibt. Aber die Arbeit ist gerade die umgekehrte wie beim eigentlichen Wasserrad; das Wasser ist hier das passive Element; eine fremde Kraft, die des Windes, dreht das Rad, und zwar in der umgekehrten Richtung, so daß das Wasser von den Schaufeln erfaßt und in dem Gerinne emporgeschoben, gefegt oder geschleudert wird, je nach der Schnelligkeit der Umdrehung. Von der Höhe, die hiermit erreicht werden kann, fließt das Wasser dann in seinem angewiesenen Wege fort. Aber auch diese kunstlosen Apparate erhielten schon im Altertum eine verfeinerte Ausbildung, das Tympanum, eine Trommel, welche mit dem Umfange Wasser schöpft, das dann in gekrümmten Kanälen rückwärts bis in die hohle Achse und aus dieser endlich hinausfließt.

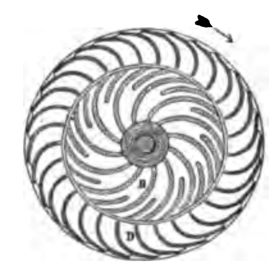


Fig. 175. Horizontaldurchschnitt des Laufrades.

Den Schöpfrädern nahe stehen die ebenso alten sogenannten Paternosterwerke mit einer endlosen umlaufenden Kette verschiedener Schöpfgeräte. Um Wasser mittels solcher eine schiefe Ebene hinaufzuziehen, bedarf es, wie Fig. 176 zeigt, nur einer Rinne von drei Brettern und einer beweglichen Kette gut hineinpassender Brettchen. Man sieht solche Vorrichtungen bei uns nicht selten an Wasserbauten, wo sie durch eine Kurbel gedreht werden. Die Chinesen setzen sie lieber mit den Füßen in Bewegung, indem sie an Stelle der Kurbel eine Welle legen, die mit Trittspeichen versehen ist. Damit ein solcher Apparat in senkrechter Stelle arbeiten könne, muß er natürlich einen geschlossenen Schlot aus vier Brettern oder eine runde Röhre haben; im letzteren Falle wendet man statt der Brettchen des bessern Schlusses und sanftern Ganges halber lieber kugelförmige, ausgestopfte Lederkissen an. Diese Einrichtung hat dem Paternosterwerk seinen Namen gegeben. Dem

senkrecht stehenden Paternosterwerk einigermaßen ähnlich ist auch die sogenannte **Seilpumpe**, bei welcher ein bloßes Seil ohne Ende einen ebensolchen Weg macht, wie hier die Kette, und in einem engen Rohr emporsteigt. Wird das Seil in einem bedeutend schnellen Laufe erhalten, so reißt es, lediglich infolge der Adhäsion des Wassers an das Seil, eine Quantität Wasser mit in die Höhe, und zwar mehr als man glauben sollte. Besetzt man die endlose Kette mit Schöpfbechern, so kommt eine Steigröhre natürlich gar nicht in Anwendung.

Ein interessanter, hierher gehöriger Apparat ist die sogenannte **Wasserschnecke** oder **archimedische Schraube**, die aber ungeachtet ihres Namens kaum von Archimedes, sondern wohl schon früher in Ägypten erfunden wurde. Sie ist verwandt, aber nicht identisch mit dem schon genannten Tympanum, welches Archimedes beschreibt, und welches eine ebene Spirale zur Grundform hat. Die archimedische Schraube schiebt das Wasser ebenfalls, wie das schräge Paternosterwerk, eine nicht zu steile schiefe Ebene hinauf, nur mit dem Unterschiede, daß dies nicht durch einzelne Zellen geschieht, sondern durch eine einzige, deren Boden schraubengangartig um die Welle herumgelegt ist, und die in einem festliegenden, nach unten zu geschlossenen, halbcylindrischen Troge gedreht wird. Hierbei entschlüpft aber immer mehr oder weniger Wasser wieder nach unten, deshalb gibt man statt des Troges der Schraube eine volle Ummantelung, die überall auf den Kanten des Schraubengewindes fest ansitzt und folglich an der Drehung teilnimmt. Eine solche Einrichtung ist im Durchschnitt in Fig. 177 dargestellt. Die Drehung der Wasserschnecke muß in der entgegengesetzten Richtung von der erfolgen, in welcher das Gewinde läuft. Hat das untere im Wasser liegende Ende eine Quantität Wasser geschöpft, so wird dasselbe, wenn das Gewinde unter ihm weggedreht wird, beim ersten Umgange von der übrigen Wassermasse abgeschnitten, bei jedem späteren rückt es infolge seiner Schwere, die es immer auf dem tiefsten Punkte hält, um einen Gang dem höher gelegenen Ausflusse zu, welchen es denn auch nach so viel Drehungen, als die Schnecke Windungen hat, erreicht. Die Windungen der Schraube bilden einen einzigen Kanal, den das Wasser von unten nach oben zu durchwandern hat; in dem abgebildeten Beispiel ist die Schraube eine doppelgängige. Nun lassen sich aber solche gewundene Kanäle auch so herstellen, daß man eine oder zwei Blechröhren korkzieherartig um eine drehbare Achse windet, und dies gibt denn die dritte, ebenfalls gebräuchliche Form der Wasserschnecke.

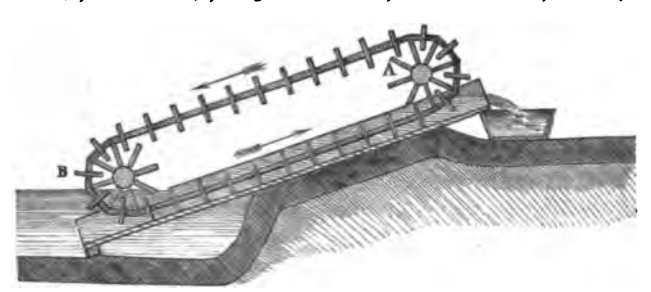


Fig. 176. Paternosterwerk.

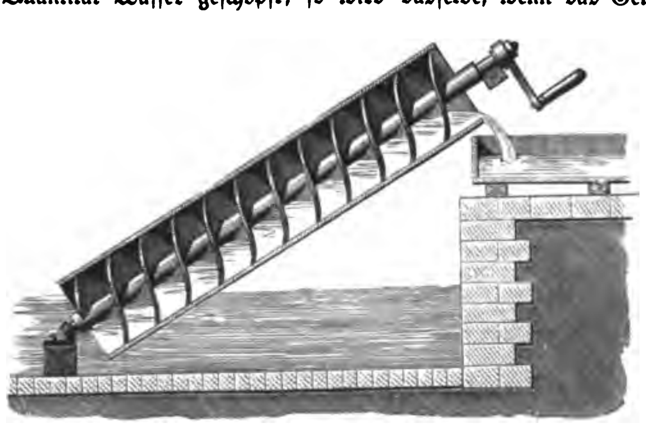


Fig. 177. Wasserschnecke.

Pumpen. Während die eben gemusterten Hebewerke mehr oder weniger die Handarbeit des Schöpfens nachahmen, beruhen die Pumpen zunächst auf einem andern, aber ebenso naheliegenden Prinzip, auf dem des **Saugens**, und nehmen solchergestalt den Luftdruck mit zu Hilfe. Wir sagen: sie beruhen **zunächst** darauf, denn es scheint, daß die

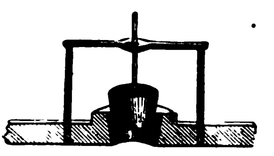
ältesten Pumpen nicht bloße Saugpumpen gewesen sind, sondern daß sie aus den Vorrichtungen für Luftbeförderung (Blasbälge) hervorgegangen sind, bei denen also zuerst gesaugt, dann ausgepreßt wird. Mit der Zeit sind Pumpeneinrichtungen entstanden, die von der Wirkung des atmosphärischen Druckes ganz unabhängig sind.

Die ganze Einrichtung der Wasserpumpen ist, nachdem wir das Wesen der Luftpumpe und der Kompressionspumpe kennen gelernt haben, sehr leicht verständlich. Wir wissen, daß, wenn wir die Torricellische Röhre (s. Fig. 98) nicht durch ein zugeschmolzenes Ende, sondern durch einen luftdichten Kolben abschließen wollten, beim Aufzuge desselben darunter ein luftleerer oder, wenn der Kolben nicht auf dem Spiegel des Quecksilbers aufsaß, ein luftverdünnter Raum entstehen müßte. In diesen preßt der äußere Luftdruck das Quecksilber oder Wasser — ersteres aber eben höchstens 76 cm (28 Zoll), letzteres nicht höher als $10_{,3}$ m — in die Höhe.


Fig. 178. Klappenventil.

Die Saugpumpen sind nun diejenigen Vorrichtungen, in welchen auf solche Weise die Arbeit des Hebens von Flüssigkeiten mittels eines beweglichen Kolbens bewirkt wird.

Ventile machen es möglich, daß der Kolben wieder umkehren kann, ohne daß das bereits Gehobene wieder zurücksinkt, indem der bei der Umkehr des Kolbens nach entgegengesetzter Richtung wirkende Druck der Flüssigkeit durch die Niederdrückung eines Abschlusses (des Ventiles eben) den Weg zurück versperrt. Bei der Luftpumpe haben wir diesen Vorrichtungen weiter keine Aufmerksamkeit geschenkt; wir wollen dies hier nachholen und geben deswegen in Fig. 178—180 die Abbildungen einiger der hauptsächlichsten Formen. Die erste Form (s. Fig. 178) ist die älteste und bei gewöhnlichen Pumpen meist gebräuchlich. Solche Ventile, Klappenventile, bewegen sich ganz wie eine Fallthür an einem Scharnier, das oft nur aus einem aufgenagelten Lederstreifen besteht. Am häufigsten jedoch werden sie aus Metallscheiben gemacht und mit Leder oder Filz gedichtet. Bei weiten Rohren mit hohem Kolbenhub schlagen diese Art Klappen unangenehm auf ihren Sitz auf. Vollkommener wird statt dessen eine Doppelklappe, d. h. zwei Klappen, welche mit ihren Scharnieren aneinander liegen. Bei den besseren Pumpwerken erscheinen die Ventile und ihre Lager in Metall ausgedreht, sie haben einen solideren Körper als die Klappen und sind dadurch zu einem sicherern Verschlusse geeignet. Man unterscheidet dann noch Kegel- und Kugelventile, welche uns in Fig. 179 und 180 dargestellt sind. Das erstere (s. Fig. 179) erinnert an einen Stopfen, der sich in den Hals der Flasche einsenkt und wieder hebt. Damit dieser Körper seinen richtigen Platz nicht verliert, ist ein Bügel vorhanden, der ihm das zu hohe Steigen verwehrt, und ein Führungsstäbchen, das in einer Durchbohrung des Bügels gleitet, sichert vor seitlichen Ausweichungen. Der Bügel und das Stäbchen können auch nach unterwärts gerichtet sein; in diesem Falle ist das Ende des letztern mit einem Knopf versehen, welcher als Aufhalter gegen zu hohes Steigen dient.

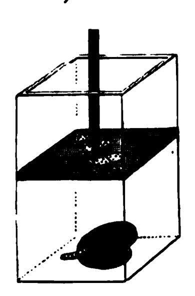

Fig. 179. Kegelventil.

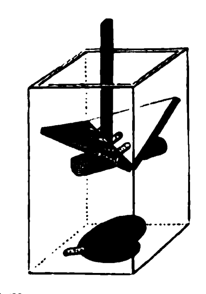
Einen Schritt weiter gelangt man zu der besten Ventilform, dem Kugelventil (s. Fig. 180). Hier liegt eine gut gedrehte Metallkugel frei in ihrem Lager, hebt sich mit dem steigenden Wasser und sinkt dann wieder in ihr Lager zurück. Welche Drehungen sie unterdes gemacht hat, ist gleichgültig, da sie vermöge ihrer Form in allen Lagen gut schließen muß. Sie bedarf aus diesem Grunde auch keiner besonderen Führung, sondern es genügt eine Vorrichtung, die sie an zu hohem Steigen hindert; in der Regel werden ein paar kreuzweis gestellte Bügel angewandt, welche reifenförmig sich über die massive Kugel spannen.


Fig. 180. Kugelventil.

Je feiner die Ventilapparate gearbeitet sind, um so leichter werden sie durch Sand und andre Unreinigkeiten Störungen erleiden. Das Kugelventil hat, da die Kugel sich in der Regel nach dem Heben in veränderter Lage wieder aufsetzen wird, die gute Meinung für sich, daß es sich von etwa dazwischen kommenden fremden Körpern leichter von selbst wieder reinigt. Um den Lauf sehr unreiner Flüssigkeiten (z. B. an Bauten, Miststätten)

zu fördern, hat man verschiedene andre, weniger empfindliche Kolbenvorrichtungen. Die Rohre für solche Zwecke werden meistens nicht rund gemacht, sondern aus vier Bohlen zusammengesetzt. Dann ist auch der Kolben eine quadratische Scheibe, der man zuweilen eine größere Anzahl kleiner Durchbohrungen gibt, welche durch größere Lederklappen gedeckt werden. Oder man setzt den Kolben aus vier dreieckig geschnittenen und durchlöcherten Stücken so zusammen, daß er das Ende der Stange in der Gestalt eines Rumpfes umgibt, auf dessen Innenseite die Lederklappen zu liegen kommen. Kolben dieser Art heißen Trichterkolben. Sehr entsprechend für alltägliche Zwecke ist auch eine in Fig. 181 und 182 in zwei Stellungen abgebildete Einrichtung, die den Vorteil bietet, daß sie ohne alle Kunstfertigkeit sich herstellen läßt. Der Kolben thut hier selbst den Dienst einer Doppelklappe, und es bedarf nur eines Querstücks an dem Ende der Stange, gegen welches die beiden Flügel beim Emporsteigen sich anlegen können.





Klappenkolben.
Fig. 181. Aufgang. Fig. 182. Niedergang.

Ein guter Schluß der Ventile sowohl als des Kolbens ist die erste Bedingung einer guten Pumpe. Man dichtet daher den Kolben, wie es Fig. 146 für die Luftpumpe zeigt, durch Umwickelung mit Leder, Hanf- oder Wergzöpfen u. s. w., so daß derselbe mit einiger Elastizität sich an den Rohrwänden auf und ab schiebt. Je ebener und glatter die Wandungen sind, zwischen denen der Kolben spielt, um so besser hält sich seine Liderung. Metallliderung, wie sie bei Dampfmaschinen vorkommt, würde natürlich auch für Pumpen das Beste sein.

An der gewöhnlichen Saugpumpe, der am häufigsten vorkommenden Pumpenart, unterscheiden wir das Saugrohr, das ins Wasser hinabgeht und unten in eine Art Sieb endigt, welches Unreinigkeiten abhält, und den Stiefel, in welchem der Kolben mittels des Schwengels auf und ab getrieben wird. Nach dem Gesetz vom Luftdruck, der ja das Wasser im Saugrohr in die Höhe treibt, darf dieses letztere nie länger als höchstens 10 m sein; des besseren Abschlusses wegen macht man auch bei geringen Pumpen wenigstens dieses Stück gern aus starkem Blech.



Fig. 183. Saugpumpe.

Um das Spiel der Pumpe zu veranschaulichen, geben wir in den Figuren 183—185 drei Ansichten davon, welche drei verschiedene Momente darstellen. Bei gut gedichtetem Kolben muß die Pumpe ebensowohl Luft als Wasser pumpen können, und es hat in diesem Falle nichts auf sich, wenn das Rohr teilweise oder auch ganz wasserleer ist; man pumpt dann zwar anfangs eine Zeitlang leer, aber darum nicht vergebens. Bei jedem Hube wird etwas Luft herausgeschafft und dadurch die Luftmasse im Rohr verdünnt; bei jedem Hube bringt dann so viel Wasser von unten herauf, daß die Differenz zwischen der äußeren und inneren Luftdichte ausgeglichen wird, und endlich tritt (s. Fig. 183) bei einem neuen Kolbenaufgange das Wasser durch das untere oder Saugventil; bei dem nächsten Kolbenniedergange strömt es (s. Fig. 184) durch das Kolbenventil und gelangt, wenn der Kolben wieder gehoben wird und sein Ventil sich schließt, zum Auslaufen aus der Röhre (s. Fig. 185). Befindet sich dieselbe sehr hoch über dem Saugventil, so werden freilich mehr Kolbenzüge erforderlich sein, um so viel Wasser über demselben anzusammeln, daß dasselbe die Ausflußöffnung erreicht. Das Spiel der Ventile ist bei Wasser und Luft ganz das nämliche: hebt sich der Kolben, so schließt sich sein Ventil, weil die Luft oder das über ihm stehende Wasser darauf drückt; gleichzeitig öffnet sich das Saugventil durch den Druck der Luft, bez. des Wassers, von unten. In dem Moment, wo der Kolben seinen Niedergang antritt, wird das Saugventil zugedrückt und das Kolbenventil öffnet sich. Die Ventile der Pumpe sind beide also nur beim Stillstand geschlossen; sonst öffnet sich immer das eine, während das andre sich schließt.

Steht die Pumpe einmal voll Wasser, so kann sie auch bei schlecht schließendem Kolben gebraucht werden, wie das der gewöhnliche Fall bei ordinären Pumpen ist; sie ist dann nur weniger ausgiebig. Das Saugventil muß immer in gutem Stande sein, denn wenn dieses leck wird, so verzieht sich das Wasser bald und die Pumpe steht trocken. Durch Eingießen von einigen Kannen Wasser oben in die Pumpenöffnung kann man jedoch diesem Übelstande abhelfen. Das Wasser quellt die eingetrockneten Liderungen auf und stopft, soweit es sich oberhalb des Kolbens erhalten läßt, die Zwischenräume; es wird dadurch, wenn auch nur momentan, ein besserer Verschluß hergestellt.

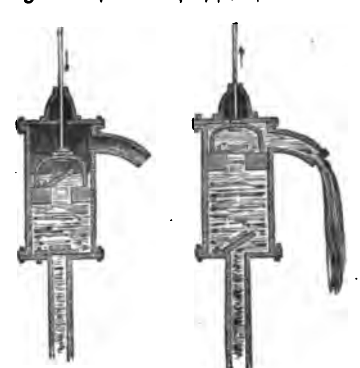


Fig. 184. Fig. 185.
Saugpumpe in den verschiedenen Stadien ihrer Wirksamkeit.

Steht die Saugpumpe in völliger Übereinstimmung mit der früher besprochenen Luftpumpe, so ist die Druckpumpe, zu deren Betrachtung wir nun kommen, der Kompressionspumpe an die Seite zu stellen.

Die **Druckpumpe** charakterisiert sich zunächst dadurch, daß ihr Kolben ein solides Stück ohne Klappen bildet. Sie steht in dem Wasser selbst, aus dem sie schöpfen soll, und treibt dasselbe in einem **Steigrohr** nach oben. Da sie im wesentlichen vom Luftdruck unabhängig ist, so kann dieses Rohr beliebig hoch sein, sofern nur die Wandungen hinlänglich stark für den Druck der Wassersäule sind und die Maschine Kraft genug hat. Es kommen bei der Druckpumpe, deren einfachste Form Fig. 186 versinnlicht, ebenfalls zwei abwechselnd wirkende Klappen ins Spiel: die Bodenklappe B und die Seitenklappe C. Steigt der Kolben A, so dringt durch B Wasser herein, während die Last der Wassersäule in D die Klappe C zudrückt und sich damit selbst den Rückfluß abschneidet; beim Niedergang des Kolbens wird B zugedrückt und C muß sich öffnen, um den neuen Schub Wasser ins Rohr treten zu lassen. Wie man sieht, geht es auch bei dieser Druckpumpe nicht ganz ohne Saugen ab; aber bei der geringen Hubhöhe erfordert dies keine besondere Kraft, die Kraft wird vielmehr, im Gegensatz zu den Saugpumpen, hauptsächlich beim Niedergange des Kolbens verbraucht.



Fig. 186. Druckpumpe.

Endlich läßt sich auch der vorliegende Apparat leicht in eine vereinigte **Druck- und Saugpumpe** verwandeln. Angenommen, das Speisewasser der Pumpe liege noch ein gut Stück weiter unten, so braucht nur aus der Mitte des Cylinderbodens ein Rohr hinabgeführt zu werden, welches dann mittels der Klappe B geöffnet und geschlossen würde. Diese untere Partie wirkt dann wie eine gewöhnliche Saugpumpe, und es gilt für die Länge des unteren Rohres auch die bekannte Rücksicht, daß der volle Atmosphärendruck nicht über 10 m Steighöhe gehen kann. Die pumpende Kraft wird bei einem solchen System natürlich in beiden Richtungen angestrengt: der Hub des Kolbens muß Wasser aus der Tiefe in den Cylinder heraufziehen, und der Niedergang drückt es im Steigrohr D zu noch größerer Höhe hinauf. Bei Handpumpen kommt nicht selten ein auf diese Art vereinigtes Saug- und Druckwerk, namentlich wenn der Brunnen für ein gewöhnliches Saugwerk zu tief ist, oder auch wenn das bis zum Brunnenrande gehobene Wasser noch weiter emporgeschafft werden soll, zur Anwendung. Im erstern Falle wird der Cylinder oder Stiefel so tief als nötig in den Brunnenschacht gelegt, die Pumpenstange geht frei bis zu demselben hinab und wird dann gewöhnlich mittels einer Kurbelwelle mit Schwungrad, die quer über der Brunnenmündung liegt, in Bewegung gesetzt.

In welcher Weise in der Praxis eine gute Pumpe ausgeführt wird, zeigt die beigegebene Abbildung einer aus Metall konstruierten **Haus- oder Straßenpumpe**, die sowohl

als bloße Saugpumpe, wie auch als Saug- und Druckpumpe zu benutzen ist (s. Fig. 187). Der Schwengel ABC dreht sich um den Zapfen B; an dem kurzen Hebelarm CB hängt mittels eines Gelenkes eine Zugstange CD, welche unten bei D mit der Kolbenstange, ebenfalls mittels Gelenkes, verbunden ist. Wird durch Niederdrücken des Schwengels AB der Kolben E gehoben, so öffnen sich die zwei Klappen F und G und eine Quantität Wasser steigt durch das Rohr H in den Pumpenstiefel, während gleichzeitig das Wasser, welches sich bereits über dem Kolben befand, noch höher gehoben und durch die Klappe G in das Steigrohr hinaufgetrieben wird. Geht der Kolben nieder, so schließen sich die Klappen F und G, die des Kolbens öffnen sich und eine neue Quantität Wasser tritt über denselben.

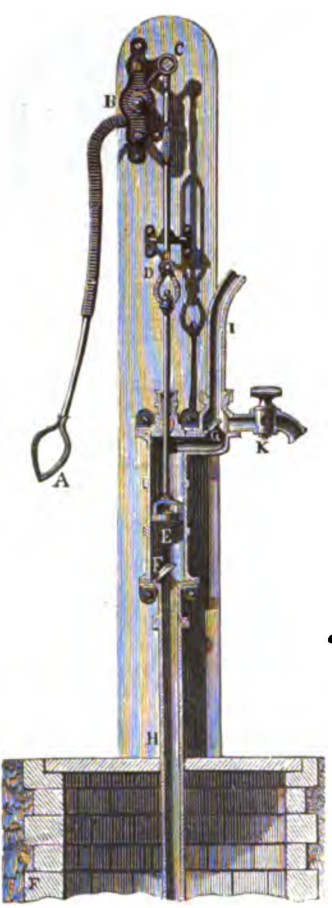


Fig. 187. Hauspumpe.

Der Kolben hat somit beim Aufgange nächst der Reibung das Gewicht der ganzen Wassersäule zu überwinden, welche vom Brunnenspiegel bis zur Mündung des Steigrohres reicht, beim Niedergange dagegen nur die Reibung, die teils zwischen den festen Teilen, teils zwischen dem Kolben und dem durch seine Klappe strömenden Wasser stattfindet. Mündete das Steigrohr mit seiner Klappe zwischen E und F in den Stiefel, wie wir weiter oben annahmen, so dürfte der Kolben E keine Klappe haben und er würde dann beim Aufgange saugen, beim Niedergange drücken; so aber ist die ganze Arbeit in den Aufgang des Kolbens, folglich in den Niederdruck des Schwengels gelegt, und zwar mit Recht, da nur in dieser Richtung, nicht von unten nach oben, die Muskelkraft bequem und vorteilhaft zu verwenden ist. Öffnet man den Hahn K, so fließt das gehobene Wasser hier ab und die Pumpe ist nun eine gewöhnliche Saugpumpe, die mit viel geringerer Kraft in Gang gesetzt werden kann.

Braucht man den Ausguß des Steigrohrs nur in mäßiger Höhe, vielleicht nur wenige Meter über dem unteren, so kann der Zweck mit einer bloßen Saugpumpe erreicht werden, indem man nun das Pumpenrohr entsprechend hoch macht. Die Pumpe geht dann bei Benutzung des oberen Ausgusses schwerer, weil eine höhere Wassersäule bewegt werden muß. Überhaupt ist leicht zu ersehen, daß das Wasser, welches einmal über den Kolben getreten ist, in keiner andern Weise gehoben wird, als würde es in einem Zieheimer heraufgezogen. Daher läßt sich auch dieser obere Teil des Rohres beliebig verlängern, sofern man an Stelle des Handbetriebs eine tüchtige Maschinenkraft setzt. Die praktische Grenze für solche Werke ist in der That nur da, wo das Rohr infolge des großen Seitendrucks des Wassers platzen oder die Pumpenstange wegen seiner Schwere reißen müßte. So modifizierte Pumpen mit ungeheuer langen Stangen und Oberröhren, bei geringer Höhe des Saugrohrs, sind namentlich im Bergbau in Gebrauch, und sie heißen vorzugsweise **Hebepumpen**. Sie sind am Platze, wenn die Triebmaschine oberhalb steht, z. B. an der Mündung eines Schachtes; bei der Druckpumpe muß der Angriff der Kraft in der Tiefe angebracht sein. Höhen von mehreren hundert Meter können aber, eben wegen der dann nicht mehr zureichenden Festigkeit des Materials, von keiner Art Pumpen in einem Zuge bestritten werden, und man bringt in diesem Falle mehrere Pumpensätze übereinander an, von denen jeder höhere das aufnimmt und weiter schafft, was der unter ihm heraufgebracht und in einen Kasten entleert hat.

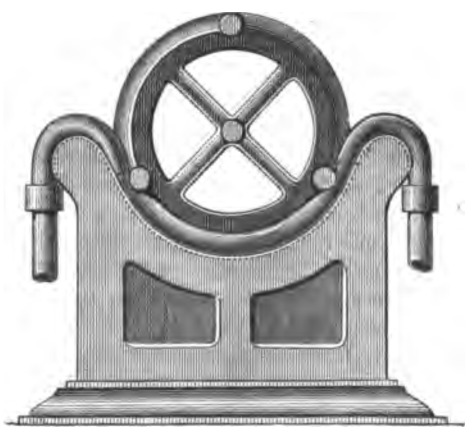
Bei der Druckpumpe kommt es augenscheinlich auf nichts weiter an, als daß durch die Druckkraft ein mit Wasser angefüllter Raum verengert und dadurch eine der Raumverkleinerung entsprechende Menge Flüssigkeit gezwungen wird, durch einen dargebotenen

Ausweg zu entweichen. Die Form des die Wassermasse verdrängenden festen Körpers ist dabei ganz gleichgültig. Man wendet daher auch nicht immer einen Kolben von der gewöhnlichen Form, sondern statt dessen häufig einen langen glatten, massiven oder auch hohlen Metallcylinder an, der den Pumpenstiefel ziemlich ausfüllt, ohne jedoch seine Wände zu berühren. Die Dichtung zwischen Kolben und Stiefel ist hier nicht an dem erstern, sondern im Deckel des letztern angebracht und besteht aus einer Leder- und Hanfpackung, wie sie an dem Cylinder einer Dampfmaschine für die Kolbenstange gewöhnlich ist. Die Vorteile dieser sogenannten Mönchskolben (s. Fig. 188, englisch Plunger, Taucher) sind verminderte Reibung, also leichter Gang, und eine vollkommnere Dichtung, die selbst bedeutend hohe Druckgrade aushalten kann.


Fig. 188. Druckpumpe mit Mönchskolben.

Eine interessante Modifikation der Saugpumpen sind die sogenannten Sackpumpen, bei denen in der That eine Art Sack ohne Boden von gutem geschmeidigen Leder ins Spiel kommt. Man hat sich vorzustellen, daß die obere Mündung dieses Lederschaftes am Umfange des Kolbens, die andre am Umfange des Saugrohrs wasserdicht befestigt ist, so daß die Saugklappe im Innern des solchergestalt gebildeten Hohlraumes arbeitet. Die Höhe des Sackes richtet sich nach der Hubhöhe des Kolbens; beim höchsten Stande des letztern ist der erstere gestreckt und setzt sich beim Niedergange wie ein Blasebalg faltig zusammen; dadurch verringert sich das innere Volumen. Der Inhalt, zuerst Luft, dann Wasser, wird herausgepreßt und von unten wieder aufgesaugt, wenn der Aufgang des Kolbens den Ledersack wieder auszieht. Die Ventile und die Förderungsweise des Wassers sind ganz dieselben wie bei der gewöhnlichen Pumpe, die Sackpumpen bieten aber den Vorteil, daß die Kolbenreibung wegfällt.

Die abwechselnde Volumenänderung des Ledersackes, welche die Luftverdünnung hier bewirkt, erzielt man auch bei den sogenannten rotierenden Pumpen dadurch, daß man über einen biegsamen Schlauch, der mit dem einen Ende im Wasser hängt, hinstreicht und dadurch die darin befindliche Flüssigkeit oder Luft nach dem andern Ende zu treibt. Behufs der Anwendung zu Pumpwerken bringt man den Schlauch in der Innenwand einer halbkreisförmigen Trommel an und läßt ihn von den in Zwischenräumen am Umfange einer Walze angebrachten Vorsprüngen bearbeiten. Die Abbildung Fig. 189 verdeutlicht den Vorgang.


Fig. 189. Schlauchpumpe.

Verwandt damit sind dann auch noch die sogenannten Kapselpumpen, deren Wesen darin besteht, daß in einem festen Gehäuse zwei eigenartig geformte Körper derart um ihre zwei Wellen sich bewegen, daß sie, gegeneinander und gegen das Gehäuse luftdicht abschließend, bei jedem Umgange aus dem Saugrohre eine Quantität Flüssigkeit mit emporнehmen und in das Steigrohr hineinpressen. Die Fig. 190 wird den Vorgang versinnlichen, g ist das Saugrohr, ff das feste Gehäuse, in welchem sich die 8förmigen Kolben c und d luftdicht in entgegengesetzter Richtung mit den resp. Wellen a und b drehen, h ist das Steigrohr. Die Form des Gehäuses ist cylindrisch mit geraden Seitenwänden nach vorn und hinten, durch welche die Wellen der Kolben hindurchgehen. Der Betrieb geschieht durch eine Riemenscheibe, die auf einer der beiden Wellen aufgekeilt und mit der andern Welle durch Zahnräder verbunden ist.

Anstatt Wasser kann durch derartige Vorrichtungen auch Luft befördert werden, in welchem Falle die Pumpe dann in ein Gebläse oder in einen Ventilator sich verwandelt.

Außer den Pumpen mit hin- und hergehenden Kolben gibt es auch verschiedene Arten von Zentrifugalpumpen. Darunter gehören die sehr wirksamen Kreiselmaschinen, welche,

von Dampf getrieben, in norddeutschen Niederungen und anderswo zur Entwässerung dienen. Sie gleichen durchaus den mächtigen Luftsaugemaschinen zur Lüftung von Bergwerken und jener Luftpumpe, welche bei der Besprechung der pneumatischen Paketbeförderung Erwähnung fanden. Bei dem Bergwerksventilator und der ihm gleichenden Kreiselpumpe befindet sich das hohle Scheibenpaar (vgl. Fig. 162) in liegender Stellung. Die obere Scheibe ist natürlich ohne Öffnung; die untere, welche, wenn es sich um Lüftung handelt, die Mündung des Schachtes vollständig verschließen muß, hat in der Mitte ein Saugloch. In diesem tritt, wenn die Drehung stattfindet, beständig die Luft von unten nach oben, um diejenige Luft zu ersetzen, welche von den Scheiben seitlich fortgetrieben wird. Denken wir uns nun vom Saugloch ab ein Rohr niedergeführt, das in das Wasser eines Kanals und dergl. untertaucht und 3, 4, ja 8 m lang sein kann, so wird beim Beginn der Arbeit allerdings bloß Luft ausgetrieben; da dieselbe von unten aber keinen Nachschub erhält, so setzt sich die von den Flügeln erzeugte Luftverdünnung auch in das Rohr fort und das Wasser beginnt nun darin aus dem nämlichen Grunde zu steigen, als wenn ein luftdichter Kolben in demselben in die Höhe gezogen würde. Schließlich gelangt es über die Rohrmündung und zwischen die beiden Scheiben, welche bisweilen mit radialen Schaufeln versehen sind, und von denen es nun hinausgeschleudert wird. Ist solchergestalt die Maschine erst einmal in Gang gekommen, so kann von einer weiteren Luftverdünnung nicht mehr die Rede sein; immer aber ist der einseitige Luftdruck auf den unteren Wasserspiegel das wirkende Prinzip.

Andre Arten von Kreiselpumpen geben ansehnliche Wirkungen durch ein viel kleineres Rädchen mit schraubenartigen Flügeln von etwa 30 cm Durchmesser, das am unteren Ende eines Steigrohrs in dem zu hebenden Wasser selbst arbeitet. Durch einen Treibriemen oder ein Zahngetriebe in sehr raschen Umlauf gesetzt (7—800 Umgänge in jeder Minute), nimmt es wie die Wasserschnecke Wasser ein und drückt dasselbe in das Rohr hinein. Während die vorerwähnte Maschine also unter die Saugpumpen zu rangieren ist, stellen diese Kreiselpumpen eine Art Druckpumpe vor.

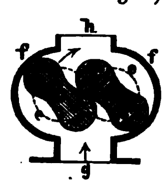


Fig. 190. Schematischer Durchschnitt einer Kapselpumpe.

Abweichend von den hier in Betracht stehenden Maschinen ist eine in neuerer Zeit in Aufnahme gekommene Wasserhebungsvorrichtung, der sogenannte Pulsometer, dessen charakteristischer Mechanismus ein Dampfapparat ist, und deswegen auch bei der Besprechung der Dampfmaschine seine Abhandlung mit finden wird.

Dagegen stellt der **hydraulische Widder** oder Stoßheber, so genannt, weil der Stoß, den eine in ihrer Bewegung plötzlich aufgehaltene Wassermasse ausübt, bei diesem Apparate das Wirkende ist, eine der interessantesten Wasserhebemaschinen dar. Montgolfier bemerkte an dem Zuleitungsrohr einer Badeanstalt die heftige Reaktion des in seinem Laufe plötzlich gehemmten Wassers. Wenn er den Hahn des rasch fließenden Rohres schloß, so erzitterte und erdröhnte die ganze Röhrenleitung, und eines Tages wurde sogar der Verschluß gänzlich herausgetrieben. Montgolfier ließ nun hinter dem Hahn ein senkrechtes, oben offenes Rohr einsetzen, um zu sehen, wie hoch wohl der Stoß das Wasser in demselben emportreiben würde. Es erreichte eine ansehnliche Höhe, und diese Erfahrung benutzte er zur Konstruktion seiner interessanten Maschine, die für mancherlei Einrichtungen große Vorteile bieten kann, wo die Umstände ihre Anlage gestatten, d. h. wo eine große fließende Wassermasse, etwa ein lebendiger Bach oder der Abfluß aus einem Teiche, zu Gebote steht.

In seiner einfachsten Gestalt besteht der Stoßheber nur aus zwei Rohren und zwei Klappen. Durch ein liegendes Rohr AB (s. Fig. 191) wird der Wasserstrom aus dem höher gelegenen Reservoir geleitet. Aus einer im oberen Teile des Rohres angebrachten Öffnung a fließt das Wasser aus; hier ist eine Klappe aufgehangen, welche von innen an ihren Sitz anschlagen und so den Kanal absperren kann. Diese Klappe ist schwer, so daß sie herabfällt, wenn das Wasser ruhig steht; durch die Öffnung der Klappe aber bekommt das Wasser den Weg frei und strömt mit mehr und mehr wachsender Geschwindigkeit aus. Hat das ausfließende Wasser eine gewisse Geschwindigkeit erlangt, so wird der Druck, den es auf die Unterseite der Klappe ausübt, überwiegend; die Klappe schlägt zu und das gesamte bewegte Wasser stockt plötzlich in seiner Bewegung. Der Druck, der sich hierbei

auf die ganze Gewandung des liegenden Rohres äußert, ist je nach der Fallhöhe und der Masse des ausströmenden Wassers ein verschiedener, aber immer ein bedeutender, da alle lebendige Kraft, welche das Wasser aufgenommen hatte, jetzt auf einmal abgegeben wird. Dieser Druck treibt daher auch eine andre, nach außen schlagende Klappe b im Rohre auf und jagt das Wasser, wenn dieselbe direkt in ein Steigrohr mündet, in diesem in die Höhe. Das so gehobene Wasser wird von der durch die Last dieser Wassersäule sich sogleich wieder schließenden Klappe am Zurückfließen gehindert. Sowie der Stoß ausgewirkt hat, öffnet sich die Klappe a wieder, durch ihre Schwere oder durch ein Gegengewicht. Das Wasser fängt also wieder zu fließen an, fließt immer rascher und erlangt in einer gewissen Zeit wieder diejenige Geschwindigkeit, bei welcher es die Klappe mitnehmen und sich so den Weg selbst wieder abschneiden muß. Das Steigrohr nimmt eine neue Quantität Wasser auf, und so arbeitet der Apparat unter abwechselndem Öffnen und Schließen ganz selbstständig fort. Bei übermäßiger Höhe des Steigrohrs würde natürlich seine Wassersäule endlich so schwer auf dem Sperrventil lasten, daß dieses sich weiteren Stößen nicht mehr öffnen könnte; man hat also den Abfluß etwas unter der äußersten Hubhöhe zu halten.



Fig. 191. Anwendung des hydraulischen Widders.

Diese Hubhöhe aber kann eine viel bedeutendere sein als das ursprüngliche Gefälle des Wassers, nur ist auch die Menge des gehobenen Wassers eine geringe im Verhältnis zur Menge des überhaupt verbrauchten Quantums.

In unsrer Abbildung (s. Fig. 191) führt die zweite Klappe nicht direkt in ein Steigrohr, sondern erst in einen Windkessel, wo durch das einströmende Wasser die Luft komprimiert wird. Auf diese Weise wird der Druck ein gleichmäßigerer und die Fontaine springt, trotzdem der Zufluß in gewaltsamen Absätzen erfolgt, in gleichmäßiger Weise. Montgolfier selbst hat den Windkessel seiner Erfindung beigefügt und derselben zunächst die in Fig. 192 dargestellte Einrichtung gegeben. Das Wasser fließt hier von rechtsher aus einem höher gelegenen Reservoir im Rohre A zu, steigt in einem cylinderförmigen Aufsatz in die Höhe und fließt über dessen Ränder ab. Es umspült dabei die Scheibe oder das Ventil B, das von einem Bügel gehalten wird und dessen Stiel in einer Hülse verschiebbar ist. Diese Tieflage des Ventils findet statt, wenn das Wasser noch nicht oder erst mit sehr geringer Geschwindigkeit fließt. Ist die Strömung in vollen Gang gekommen, so nimmt dieselbe das Ventil mit in die Höhe, und dieses versperrt, indem es sich an den einspringenden Kranz anlegt, dem Wasser den Ausweg völlig. Der Stoß öffnet die Klappen EE; eine Portion Wasser dringt durch dieselben in das umgebende Reservoir F ein und wird von hier in der Steigröhre G in die Höhe gepreßt. Ohne den Windkessel würde der zum Öffnen der Klappen nötige Druck von unten viel größer sein müssen, da der Stoß dann direkt und ohne elastisches Zwischenmittel auf die Wassersäule des Steigrohrs übertragen werden

würde. Indem aber die Kraft zum Teil an die Luft abgegeben wird, wirkt diese auch in den Pausen zwischen den Stößen pressend auf die Wasserfläche, und die Folge davon ist, daß der Ausfluß ein kontinuierlicher wird, während er sonst stoßweise erfolgen würde. Eine ähnliche Einrichtung bringt man auch bei den Pumpen an, und wir werden ihr auch bei der Feuerspritze wieder begegnen; sie dient dort wie hier als Regulator der Bewegung.

Das Wasser verschluckt aber immer eine gewisse Menge der Luft, mit welcher es in Berührung steht, und zwar wird um so mehr Luft aufgenommen, je größer der Druck ist. Es würde sich demnach im vorliegenden Falle die Luft im Windkessel allmählich erschöpfen, wenn nicht für ihren Wiedererſatz gesorgt wäre. Derselbe wird bewirkt durch eine horizontale Öffnung bei H, die mit einer nach innen sich öffnenden Klappe versehen ist. In dem Moment nun, wo durch das Zurücktreten des Wassers nach A eine Luftverdünnung im Innern entsteht, drückt die äußere Luft die Klappe auf, ein wenig Luft dringt ein und mischt sich mit der schon im Kessel C befindlichen. Beim nächstfolgenden Stoße tritt sodann eine entsprechende kleine Luftmenge mit durch die Klappen E und steigt als Ersatz in den Raum F hinauf. Die Anwendung des hydraulischen Widders erweist sich als ganz besonders praktisch in Fällen, wo man über sehr große Wassermassen, aber nur über geringes Gefälle zu verfügen hat, während es einem erwünscht wäre, lieber wenig Wasser auf beträchtliche Höhen zu heben. Von einer zu Senlis in Frankreich bestehenden derartigen Anlage lesen wir, daß sie in der Minute 280 kg Wasser auf die Höhe von 20 m treibt. Die Anlagekosten einer solchen Maschine sind in gar keinen Betracht zu ziehen, und die trotzdem geringe Verbreitung solcher Vorrichtungen kann darin gewiß kein Hindernis gefunden haben. Eher möchte der Grund ihrer seltenern Verwendung in der leichten Zerstörbarkeit der Hauptteile, vorzüglich der beiden Ventile liegen, welche selbst bei der sorgfältigsten Herstellung den Stößen, die mit einer solchen Geschwindigkeit sich folgen, daß täglich bis zu 80000- und mehrmal die Klappen sich öffnen und schließen, auf die Länge nicht widerstehen können.

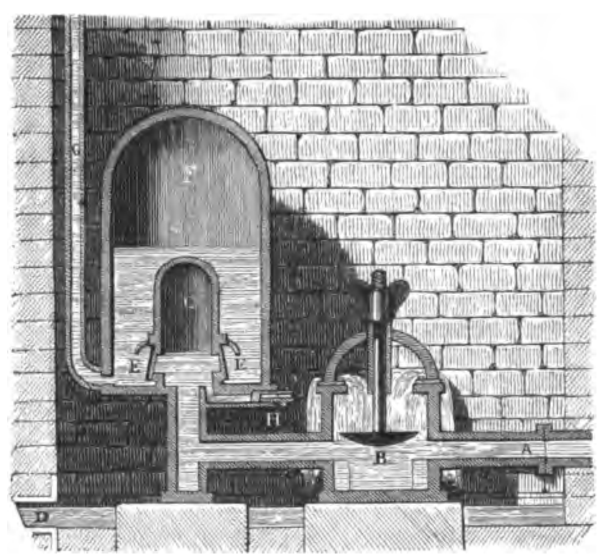


Fig. 192. Der hydraulische Widder von Montgolfier.

Am meisten leidet das Kopfventil B, welches bisher gegen eine unnachgiebige Metallplatte schlug. Um diesem Übelstande abzuhelfen, hat der Ingenieur Foex in Marseille demselben die Einrichtung gegeben, daß es nicht gegen ein Metalllager, sondern gegen ein Wasserkissen gepreßt wird und so in demselben Augenblicke, wo der Stoß von unten erfolgt, einen ebenso starken Druck von oben empfängt. Infolge dieser Einrichtung können die Ventile bei weitem schwächer sein, als sie sonst sein müßten, ohne der Gefahr, leicht zu brechen, ausgesetzt zu sein; immerhin aber werden sie diejenigen Teile bleiben, für welche man bei dergleichen Apparaten Doubletten zum eventuellen Ersatz vorrätig haben muß.

Wasserwerke, um das Pumpen im großen zu treiben, hat es in Bergwerken, auf Salinen u. s. w. immer gegeben, aber eigentlich großartige Werke wurden doch erst möglich durch Anwendung der Dampfkraft, durch Anstellung mehrhundertpferdiger Dampfmaschinen. Erst mit solchem Rüstzeug wurde es thunlich, große Städte mit Wasserwerken zu versehen, welche das wohlthätige Element nicht in hergebrachter spärlicher Weise an ein paar Laufbrunnen u. dgl. verteilen, sondern reichlich, massenhaft in jedes Haus, jede Küche, ja bis auf den Oberboden liefern; welche Bäder, Waschanstalten u. dgl. versorgen, bei Feuersgefahr Spritzwasser nach Bedarf an allen Ecken abgeben können, außerdem das Abschwemmen

der Straßen, das Ausfegen der Rinnen und Schleusen in prompter Weise besorgen. Die wasserreichsten Städte dürften Rom und New York sein; beide aber beziehen ihren Bedarf mittels sehr großer Kanäle weit aus dem Gebirge. Bei vielen Städten dagegen erlaubt das Terrain eine solche Versorgungsart gar nicht, oder aber es soll nicht bloß das Wasser in die Stadt, sondern in dieser bis in die höchsten Etagen der bewohnten Häuser hinaufgeleitet werden, und dies ist nur mit Hilfe großer Pumpwerke zu ermöglichen. Die fruchtbarsten Wasserwerke — wenn man so sagen darf — besitzt Glasgow, denn hier sind auf jeden Einwohner täglich durchschnittlich 21 engl. Kubikfuß reines Wasser gerechnet. In Manchester sind auf den Kopf nur 12½ Kubikfuß gerechnet; immer noch mehr als notwendig, denn der wirkliche Verbrauch, welcher bei der Einrichtung der Wasserwerke in kontinentalen Städten angenommen wird, beträgt selten mehr als täglich 5 Kubikfuß für die Person. Die Wasserversorgungsanstalten haben erst in den letzten Jahrzehnten ihre humane Thätigkeit in ausgedehnter Weise entfaltet. Seit kurzem aber sind in Lyon, Bordeaux, Braunschweig, Magdeburg, Berlin, Frankfurt, Leipzig, Stuttgart, Karlsruhe, Hamburg, Altona, Wien, Dresden u. s. w. die großartigsten Institute errichtet worden; in einer großen Zahl von Städten sind dergleichen im Entstehen, und selbst kleinere Orte sehen in der Beschaffung reichlichen und guten Wassers eine Pflicht der Humanität.



Fig. 193. Ausdehnung des Haarlemer Meeres im Jahre 1530.

Der Ort, wo das Wasser für eine Stadt aus einem Flusse gefaßt wird, liegt gewöhnlich außerhalb, denn wenn auch der Fluß selbst durch die Stadt geht, so will man doch eben reineres Wasser haben, als er dort bieten kann. Die neueren Anlagen sind in der Regel Druckwerke; das Wasser wird entweder in einem Turme oder bloß in einem gerüstartigen Bau durch Röhren emporgetrieben und fällt von da in die Röhren, die es nach der Stadt führen; oder man benutzt eine benachbarte Anhöhe zur Anlegung von Bassins, in die es emporgedrückt wird und wo es sich klärt, um dann seiner Bestimmung zugeführt zu werden; oder die Pumpen drücken das Wasser, wie in Berlin, unmittelbar in horizontaler Richtung fort.



Fig. 194. Ausdehnung des Haarlemer Meeres im Jahre 1648.

Die Trockenlegung des Haarlemer Meeres. Eines der großartigsten Pumpwerke ist in der jüngsten Zeit thätig gewesen, um das sogenannte Haarlemer Meer auszuschöpfen und die Ländereien, welche dieses nach und nach verschlungen hatte, wieder für Wohnung und landwirtschaftlichen Betrieb zu gewinnen ist. Es ist bekannt, daß in jenen Gegenden, welche durch Anschwemmungen des Rheinstromes entstanden sind, im Rheindelta, das feste Land sich nur sehr wenig über die mittlere Wasserhöhe des Meeres erhebt, und daß ein großer Teil der holländischen Landstriche unter dem Niveau

der Fluthöhe liegt. Ein teils vom Meere in den Dünen selbst aufgebauter Wall, teils eine mühsam hergestellte und mit aller Sorgfalt unterhaltene Abdämmung durch Deiche hält den fürchterlichen Gegner ab, solange nicht außergewöhnliche Elementargewalten in das Spiel treten oder die Dämme zufällig oder absichtlich durchbrochen werden. Die Geschichte Hollands ist reich an dergleichen Ereignissen, welche, bisweilen vom Patriotismus gegen eindringende Feinde freiwillig hervorgerufen, unsre Bewunderung erregen, noch öfter aber unser Mitleid, wenn sie infolge gewaltsamer Stürme über das unvorbereitete Land hereinbrachen und Eigentum und Leben begruben. Auf der andern Seite aber ist sie eine Folge ungebrochener Ausdauer und Thatkraft, durch welche die Bevölkerung ein fruchtbares Land der Kultur unter Umständen erhält, welche den zähesten Widerstand zu erlahmen geeignet scheinen können.

Es würde uns zu weit führen, wollten wir unsern Lesern an dieser Stelle eine Schilderung der physischen Beschaffenheit jener Länder geben, wie sie vorausgehen müßte, wenn wir das ununterbrochene Riesenringen, in welchem die Holländer mit dem Wasser sich befinden, darzustellen im Sinne hätten. Wir würden jedoch dabei mit Bewunderung jene weise angelegten Kanalisierungen, jene Dämmungen, Deiche, Schleusenanlagen ꝛc. bemerken, welche dem Lande allein die Möglichkeit seiner Existenz erhalten.



Fig. 195. Karte von Nordholland vom Jahre 1852.

Wie schon erwähnt, liegen in Holland die einzelnen Landstriche nicht gleichhoch, und namentlich sind diejenigen, in denen man früher Torf gewonnen hat, die sogenannten **Polder**, dadurch unter das Niveau des Wassers herabgedrängt worden und bei Überschwemmungen den größten Gefahren ausgesetzt. Ein weitverzweigtes Kanalsystem, das der Schiffahrt vortrefflich zu statten kommt, ist angelegt worden, um das Wasser, welches hier durch den Boden empordringt oder als Regenwasser oder infolge von Überflutungen übermäßig sich ansammelt, aufzunehmen, und es sind in diesen Landstrichen längs der Kanäle kleine Windmühlen aufgestellt, welche die Wiederentwässerung durch Pumpwerke oder archimedische Wasserschnecken besorgen. Das System der Kanäle ist durch Schleusen in seinen einzelnen Abzweigungen miteinander verbunden, und ebenso befindet sich an der Mündung in die See eine Schleuse, welche zur Zeit der Ebbe geöffnet wird, wenn der Wasserstand innerhalb der Kanäle ein zu hoher zu werden droht. Zur Flutzeit bleibt sie geschlossen. Aber trotz all der vorsorglichen Einrichtungen, die seit Jahrhunderten datieren, bekam das Meer in einzelnen Gegenden die Oberhand, und da seine Angriffe in früheren Zeiten auch wohl von der kleinlichen Partikulargesinnung unterstützt wurden, die einen allgemeinen Feind nicht bekämpft, weil er zugleich der Feind des mißtrauisch betrachteten Nachbars ist, so geschah es, daß allmählich weite Ländereien wieder von den Fluten in Besitz genommen wurden, auf denen vordem sich ein gedeihliches Leben geregt hatte. So ist der Zuidersee in historischen Zeiten zu seiner jetzigen Größe herangewachsen durch

Eindringen des Meeres seit dem 13. und 14. Jahrhundert, und die beistehenden Karten Fig. 193 und 194 lassen erkennen, wie der Teil Hollands, der das Haarlemer Meer genannt wird, im Verlauf eines einzigen Jahrhunderts seine Oberflächenbeschaffenheit verändern konnte. Früher bei weitem eingeschränkter, umfaßte das Haarlemer Meer im Jahre 1530 einen Flächeninhalt von noch nicht ganz 5600 ha, im Jahre 1591 schon fast das Doppelte und im Jahre 1648 war es auf 14194 ha angewachsen.

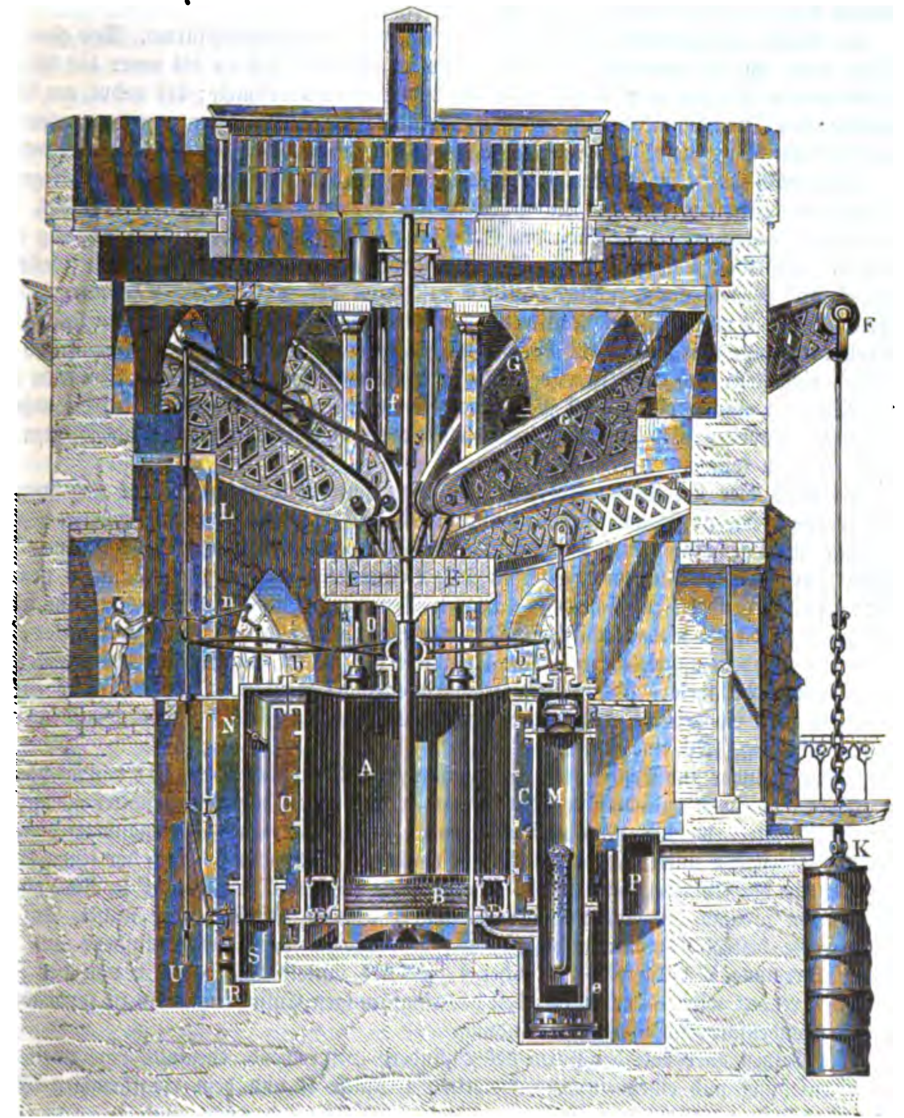


Fig. 196. Durchschnitt der Dampfpumpwerke Cruquius und Leeghwater.

Damals schon wurden von dem Mühlenbauer Jan Adrianß Leeghwater Vorschläge gemacht, mittels einer Anzahl von 160 Windmühlen das vorher eingedeichte Wasser in das Y zu schaffen. Allein trotz der immer mehr drängenden Not war der Plan für damalige Verhältnisse zu allgemein und zu riesenhaft. Man unterließ seine Ausführung und 1740 bedeckte das Meer fast 16575 ha. Cruquius damals, und später, in den zwanziger Jahren dieses Jahrhunderts, Baron Lynden van Hemmen machten erneute Entwässerungsvorschläge, die jener mit Hilfe von 112 Windmühlen, dieser durch 18 große Dampfmaschinen ausführen wollte.

Die an andern Stellen nördlich vom Y vorgenommenen Entwässerungen, an denen freilich Jahrhunderte unter unsäglichen Anstrengungen gearbeitet worden war, ehe sie diejenige Ländermasse trocken legten, welche eine Vergleichung der Karte von 1852 mit der von 1530 gewonnen zeigt — diese gelungenen Unternehmungen hätten ebenso ermunternd wie die immer wachsende Not fordernd sprechen sollen. Doch geschah bezüglich des Haarlemer Meeres so gut wie nichts, und dasselbe hatte in den dreißiger Jahren dieses Jahrhunderts eine Oberfläche von 17980 ha.

Da kamen im November und Dezember 1836 zwei entsetzliche Stürme. Der eine, von Westen, trieb am 29. November das Meer über seine Küsten, daß es bis unter die Mauern von Amsterdam trat und nicht weniger als 3982 ha Landes überflutete; der andre, am Weihnachtstage von Osten kommend, jagte es nach Leiden zu über einen Flächenraum von zusammen über 7400 ha. Eintretende Kälte ließ das Wasser gefrieren und der Schaden war unermeßlich.

Da endlich wurde im Jahre 1837 eine Kommission zur Prüfung der schon vorliegenden Entwässerungsentwürfe und zur Ausarbeitung eines endgültigen neuen niedergesetzt. Im Jahre 1840 begannen die Arbeiten mit Errichtung eines Ringdeiches und Herstellung eines Kanales. Dieselben waren nach acht Jahren beendet und nun konnten die mittlerweile beschafften drei Riesendampfmaschinen, welche zu Ehren der drei großen Trocknungsapostel Leeghwater, Cruquius und Lynden getauft worden waren, ihre Arbeit beginnen. Sie wurden der Reihe nach, im Juni 1848 (Leeghwater) und im April 1849 (Cruquius und Lynden), eingestellt und arbeiteten so tüchtig und unausgesetzt, daß nach 39 Monaten über 830 Millionen cbm, mehr als 17 Milliarden Zentner, Wasser fortgeschafft waren und der frühere Meeresboden, trocken gelegt, nun wieder von neuem mit Hacke und Spaten bearbeitet werden konnte.

Es wird hier am Platze sein, den maschinistischen Vorrichtungen uns zuzuwenden, durch welche dieser große und für das ganze Land heilsame Erfolg erreicht wurde.

Die schon genannten drei Dampfmaschinen sind sogenannte Cornwallismaschinen (das Prinzip derselben werden wir späterhin bei Besprechung der Dampfmaschinen genauer kennen lernen), von den englischen Ingenieuren Deam und Gibbs entworfen und in Cornwallis gebaut, da die niederländischen Maschinenfabriken so enorme Preise verlangten, daß man davon absehen mußte, die heimische Industrie mit diesem Auftrage zu betrauen. Nur die Kessel und Balanciers sind in Amsterdam ausgeführt worden. Jede Maschine ist auf 500 Pferdekraft eingerichtet, arbeitet aber nur gewöhnlich mit 350. Von der inneren Einrichtung gibt Fig. 196 eine Ansicht.

Dampfcylinder und Kolben sind in eigentümlicher Weise konstruiert. Es besteht nämlich der erstere aus einem cylindrischen Innenraume A und einem darum sich schließenden ringförmigen Mantel, welcher nach außenhin von der Cylinderwand C eingeschlossen wird. Beide Räume stehen unterhalb der Decke miteinander in Verbindung. Nach der einen Seite, links oben, ist der Cylinder durch seinen äußeren Ring mit dem Dampfrohr F in Verbindung, aus welchem je nach der Stellung der Klappe N Dampf zuströmt oder nicht. Auf der andern Seite besteht Kommunikation zwischen dem oberen Teile des Cylinders und dem Kondensatorraume M durch ein Ventil bei d, welches mittels des Hebels b von der Zugstange UV regiert wird. Der untere Teil des ringförmigen Cylindermantels ist fortwährend mit dem Kondensator in offener Verbindung.

Der Kolben aber hat, der Form des Cylinders entsprechend, ebenfalls eine zweiteilige Zusammensetzung aus einem inneren kreisrunden Stücke B und dem ringförmigen Stücke DD. Von beiden aus führen Kolbenstangen durch die Cylinderdecke, und zwar von dem Ringe deren vier, von dem Hauptkolben aber nur eine. Sie vereinigen sich in dem großen gußeisernen Gewichtsstück EE, welches ohne die Bleigewichte, mit denen es gefüllt ist, allein schon eine Last von 18000 kg hat. Um diese schwere Masse vor seitlichen Schwankungen zu schützen, gehen mehrere Führungsstangen ff daneben, die wir oben bei H durch die starken Deckenbalken austreten sehen. An dem Gewichtsstück E sind mittels eiserner Stangen d Balanciers GG drehbar befestigt, an deren vorderen, aus dem Mauerwerk des Gebäudes herausragenden Enden F das Pumpgestänge FK hängt.

In unsrer Zeichnung ist die Anfangsstellung des Kolbens angenommen, wo sich derselbe auf seinem tiefsten Stande befindet. Das Spiel der Maschine ist darauf folgendes.

Durch ein Zuführungsrohr, welches in unsrer Zeichnung nicht sichtbar ist, das wir uns aber hinter N liegend zu denken haben, strömt der Dampf, nachdem mittels des Hebels a ein Ventil in dem Rohre geöffnet worden ist, aus dem Kessel unterhalb des Kolbens B in den Cylinder, dessen obere Räume jetzt mit dem Kondensator M in Verbindung stehen, wo also der Expansion des unter den Kolben tretenden Dampfes kein Widerstand entgegenstehen kann. Der Kolben wird infolgedessen mit dem Gewichtsstück E in die Höhe getrieben, die Balanciers gehen mit ihrem vorderen Ende F herunter und drücken das Pumpgestänge und die Pumpenkolben in die Cylinder K. Die Pumpenkolben bestehen aus weiter nichts als aus zwei um eine horizontale Achse drehbaren Holzklappen nach Analogie der Fig. 181 und 182, welche sich nach oben öffnen und in der Ruhelage mit der horizontalen einen Winkel von etwa 45° einschließen. Beim Heraufgehen des Gestänges wird das über sie während des Herabgehens getretene Wasser gehoben und in den Abführungskanal entleert, dessen Spiegel um die Hubhöhe höher liegen kann als der Spiegel des auszupumpenden Meeres.

Ist während eines solchen Vorganges der Kolben B zu seinem höchsten Stande gelangt, so wird das Ventil d, welches die oberen Räume des Cylinders mit dem Kondensator in Verbindung setzt, geschlossen, dagegen auf der andern Seite das Ventil N geöffnet, so daß oberhalb der Kolben Dampf eintritt. Durch S besteht mit dem unteren Teile des inneren Cylinders unter B Verbindung; für den Kolben B existiert also auf beiden Seiten gleiche Spannung. Der äußere Ring aber, welcher unterhalb fortwährend mit dem Kondensator kommuniziert, erleidet von oben den höheren Druck des zuströmenden Dampfes und wirkt in demselben Sinne herabdrückend wie das schwere Gewichtsstück, welches die hinteren Enden des Balanciers mit herabnimmt und die über die Klappenventile in den Pumpkolben getretene Wassermasse hebt. Die Luftpumpe, durch welche der Innenraum des Kondensators luftverdünnt gemacht wird, befindet sich hinter M in unsrer Abbildung. Mittels der Klappe e steht sie mit dem Kondensator in Verbindung. Sie wird bewegt durch den besondern kleinen Balancier F, dessen rechtes Ende um einen festen Punkt im Mauerwerk drehbar ist.

Jeder Hub dieser Pumpwerke fördert 66 cbm Wasser in einem Gewichte von 66000 kg. Um sicher zu sein, daß diese Wassermasse auch in die Pumpen eingetreten ist, ist noch ein besonderer Apparat, der sogenannte „Katarakt", angebracht, von dem wir in unsrer Figur freilich nur wenig sehen und dessen Wirksamkeit wir durch Beschreibung deutlich zu machen suchen müssen. Er bezweckt weiter nichts, als daß der Kolben mit seinem schweren Gewichtsstück eine kurze Zeit in seinem höchsten Stande verweile, damit das Wasser Zeit findet, vollständig in die Pumpenkolben einzutreten. Diese Arretierung besorgt eben die Hydraulik. Mit dem Gewichtsstück E sind nämlich zwei Kolben verbunden, vor und hinter demselben, so daß in der Zeichnung der eine auf den Beschauer zusteht, der andre von ihm abliegt. In unsrer Durchschnittszeichnung haben sie nicht zur Darstellung kommen können. Genug, diese Kolben oder vielmehr die Cylinder, in denen sie sich völlig abgedichtet bewegen, stehen mit dem Wasserreservoir G in Kommunikation durch ein in R befindliches Ventil. Durch dasselbe tritt in jene Cylinder während des Aufganges von B so viel Wasser, daß sie unter den beiden Kolben immer gefüllt sind. In dem Moment, wo B seinen höchsten Standpunkt erreicht hat, schließt sich das Ventil in R, und da sich das Wasser fast gar nicht zusammenpressen läßt, so lastet auf demselben mittels der beiden Kolben das ganze durch den Dampf gehobene Gewicht, bis dem eingesperrten Wasser wieder ein Ausweg durch R geöffnet wird. Den ganzen Mechanismus besorgt die Zugstange UV, welche durch Verschiebung ihres Angriffspunktes p an der Kolbenstange H die Höhe des Hubes regulieren läßt.

Mit wenig Abänderung ist die Maschine „Leeghwater" genau so eingerichtet, wie die beiden eben beschriebenen. Leeghwater förderte mit elf Pumpencylindern ebensoviel als Cruquius oder Lynden mit acht — und den vereinten Anstrengungen aller Drei gelang es endlich, den alten Boden wieder zu gewinnen, den jahrhundertelang das Meer bedeckt hatte: Straßen und Wege, Fundamente von Häusern und Brücken wurden wieder sichtbar, aber merkwürdigerweise fand man sonst keine oder höchst unbedeutende menschliche Überreste.

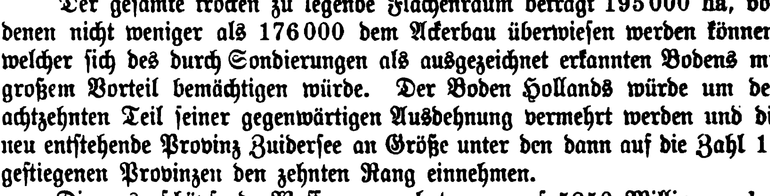
Die Kosten der Trockenlegung bezifferten sich im ganzen auf eine Summe von nahezu 14 Millionen holländischer Gulden, die zu zwei Dritteln durch den Verkauf der Ländereien wieder eingebracht wurden, so daß die verbleibende, verhältnismäßig geringe Summe durch die großen wirtschaftlichen und politischen Vorteile mehr als aufgewogen wird, welche das

Land aus der Zuführung einer so bedeutenden und fruchtbaren Bodenfläche für seinen Wohlstand ziehen muß. Nachdem der Erfolg die gehegten Erwartungen bei weitem übertroffen hat, ist man in Holland noch kühner geworden. Hat man doch bereits den Plan gefaßt, den bei weitem größern Zuidersee auf dieselbe Weise wie das Haarlemer Meer trocken zu legen.

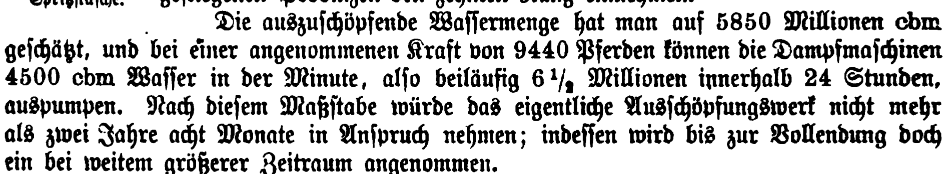
Dieses Projekt tauchte zuerst 1866 auf, und der Minister Hemskerk, dessen eminente Thatkraft das Werk vielleicht noch ausführt, schenkte ihm schon damals seine lebhafte Teilnahme. Die Kosten werden freilich so enorme sein — man schätzt sie auf 180 Millionen holländische Gulden — daß nur der Staat die Unternehmung machen kann.



Fig. 197. Spritzflasche.



Der gesamte trocken zu legende Flächenraum beträgt 195000 ha, von denen nicht weniger als 176000 dem Ackerbau überwiesen werden können, welcher sich des durch Sondierungen als ausgezeichnet erkannten Bodens mit großem Vorteil bemächtigen würde. Der Boden Hollands würde um den achtzehnten Teil seiner gegenwärtigen Ausdehnung vermehrt werden und die neu entstehende Provinz Zuidersee an Größe unter den dann auf die Zahl 12 gestiegenen Provinzen den zehnten Rang einnehmen.



Die auszuschöpfende Wassermenge hat man auf 5850 Millionen cbm geschätzt, und bei einer angenommenen Kraft von 9440 Pferden können die Dampfmaschinen 4500 cbm Wasser in der Minute, also beiläufig $6\frac{1}{2}$ Millionen innerhalb 24 Stunden, auspumpen. Nach diesem Maßstabe würde das eigentliche Ausschöpfungswerk nicht mehr als zwei Jahre acht Monate in Anspruch nehmen; indessen wird bis zur Vollendung doch ein bei weitem größerer Zeitraum angenommen.

Die Feuerspritzen. Die Feuerspritzen sind auf einen speziellen Zweck eingerichtete kombinierte Saug- und Druckpumpen, welche, gleich dem Mechanismus der Springbrunnen, einen Wasserstrahl selbst in freier Luft auf eine möglichst große Höhe oder Weite zu treiben bestimmt sind. Das Wasser läßt sich so gut wie gar nicht zusammendrücken. Wirkt daher ein einseitiger Druck auf dasselbe, so kann es demselben nur nachgeben, indem es ihm entgeht. In den gewöhnlichen Handspritzen haben wir dafür das einfachste Beispiel. Wenn der Druck aufhört, hört natürlich auch der Strahl auf; wie in der Druckpumpe erfolgt der Auftrieb stoßweise.

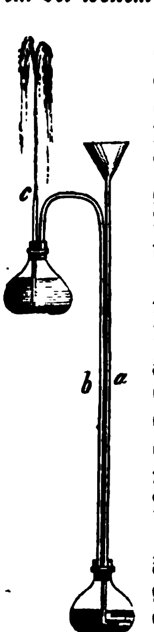


Fig. 198. Heronsbrunnen.

Wenn man aber (s. Fig. 197) in das Innere einer gut verschlossenen und halb mit Wasser gefüllten Flasche eine Glasröhre mit feiner Öffnung bringt, so daß das untere Ende in die Flüssigkeit hineinragt und, durch ein zweites Glasrohr blasend, die Luft über dem Wasser komprimiert, so tritt aus dem oberen Ende der ersten Röhre ein kontinuierlicher Strahl, der allmählich seine größte Geschwindigkeit erreicht und erst nach und nach wieder abnimmt, wenn man mit Blasen aufhört. In den chemischen Laboratorien bedient man sich solcher Flaschen (Spritzflaschen), um mit ihrem feinen Strahle Niederschläge u. dergl. auszuwaschen.

In dem Heronsbrunnen (s. Fig. 198) benutzt man dieses Vermögen zur Erzeugung eines konstanten Springbrunnens. Eine gebogene Röhre b geht luftdicht durch die Stopfen zweier Flaschen, von denen die obere Wasser enthält, in welches eine zweite, zu einer feinen Spitze ausgezogenen Röhre hineinragt. Wird nun durch die Trichterröhre a Wasser gegossen, so preßt dasselbe mit seinem Gefälle die ganze, in den beiden Flaschen und der Röhre b enthaltene Luft zusammen und treibt das Wasser aus der Röhre c in einem Strahle, der um so höher steigt, je höher die Wassersäule in der Röhre a steht. Wie bei dem hydraulischen Widder sehen wir auch hier wieder ein elastisches Zwischenmittel, dem wir bei der Konstruktion der Feuerspritzen noch öfters begegnen werden.

Wenn sich auch über die Geschichte der Feuerspritzen wenig Genaues nachweisen läßt, so scheint doch gewiß zu sein, daß schon vor Christi Geburt Maschinen in Gebrauch waren, welche bei Feuersbrünsten Wasser in die brennenden Gebäude schleuderten. Ktesibios soll schon eine mit Luftgefäß versehene Wasserpumpe gebaut haben, und die von Hero von

Alexandrien — wie einige vermuten, ein Sohn des Ktesibios — erfundene Maschine mit doppeltem Metallkolben und einer Entladungsröhre scheint wesentlich dieselbe Einrichtung gehabt zu haben wie unsre jetzigen Feuerspritzen, nur daß im Laufe der Zeit manches verloren gegangen und vergessen worden ist, was Spätere wieder neu erfinden mußten.

Die ersten **Wagenspritzen** sollen 1518 zu Augsburg gebaut worden sein, bis dahin waren nur Handspritzen in Gebrauch; erst in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts erhielt der Apparat durch einen Holländer den Schlauch und durch einen Franzosen den Windkessel. Die neuere Zeit hat keine wesentlichen Änderungen mehr vorgenommen.

Die meisten Spritzen haben zwei Pumpen, welche durch einen Doppelschwengel dergestalt bewegt werden, daß immer der eine Kolben niederdrückt, während der andre aufsteigt. Die Pumpenstiefel sind bei den fahrbaren Feuerspritzen entweder so placiert, daß sie auf der Längsmittellinie des Wagens hintereinander, oder auf einer Querlinie nahe der Hinterachse nebeneinander stehen. Hiernach modifiziert sich auch das äußere Ansehen der Spritze, denn im ersten Falle liegt der Balancier über die Länge des Wagens hin, im andern querüber. Die erste Form, welche das Passieren enger Gäßchen mehr begünstigt, ist in Deutschland beliebter; die andre, bei welcher mehr Leute nebeneinander arbeiten können, in England. Unsre Durchschnittzeichnung des Spritzenmechanismus (s. Fig. 199) bezieht sich auf eine Konstruktion der letzteren Art, welche ein nahes Zusammenstehen der beiden Stiefel und des Windkessels bedingt.

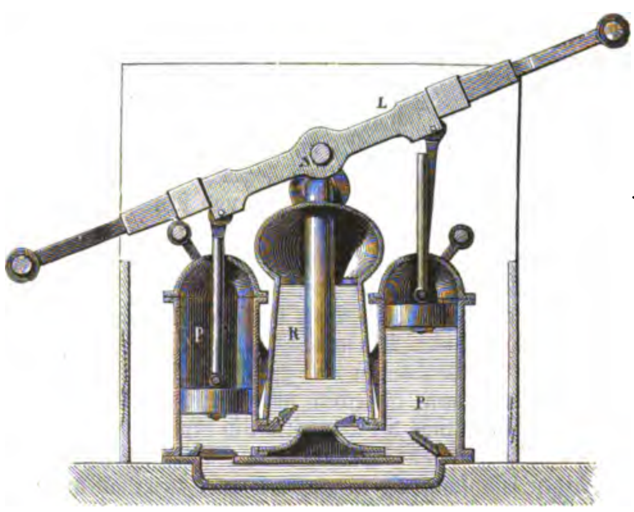


Fig. 199. Feuerspritze im Durchschnitt.

Nach dem Vorhergegangenen wird nun das Spiel der Spritze kaum noch der Erklärung bedürfen. Wir sehen im Bilde, die beiden abwechselnd steigenden und sinkenden Kolben in ihren metallenen, gewöhnlich messingenen, innen sehr fein gebohrten und polierten Cylindern P und P'. Sie sind mit Filz oder Leder gut gedichtet. Da die Kolbenstangen in ihrem Zuge und Schube die gerade Linie nicht genau einhalten können, so hängen sie des Nachgebens wegen auch mit dem Kolben nicht starr, sondern scharnierartig zusammen, und man hat zu dieser Geradführung eine große Zahl von Vorrichtungen erdacht; in unsrer Abbildung besorgt eine besondere vertikale Stange die Geradführung. Die Ventile und ihr Spiel sind uns bekannt. Die Saugventile schöpfen das Wasser aus dem Wasserkasten, in welchem das Pumpwerk selbst steht und dessen beständiges Gefülltsein natürlich eine der Hauptaufgaben der Spritzenbedienung bildet. Die Pumpen treiben das Wasser in den mittelständigen gemeinschaftlichen Behälter, den kupfernen Windkessel, der also fortwährend von beiden Seiten frischen Zufluß erhält. Dadurch wird die darin befindliche Luft auf einen immer kleineren Raum zusammengepreßt und drückt ihrerseits auf die Oberfläche des Wassers zurück. Die in der gespannten Luft aufgesammelte Kraft wirkt nun wie ein Regulator und hilft vermöge ihrer Elastizität über die toten Punkte, d. h. über die Momente hinweg, wo keine Triebkraft entwickelt wird, was bei jeder Umsetzung der Kolbenbewegung der Fall ist. Aus dem Windkessel führt das Steigrohr R, das mit seinem unten offenen Ende in den Wasserraum des Kessels herabgeht, ins Freie. Es ist oberhalb umgebogen und mit einem Knopfe zum Anschrauben eines Schlauches versehen. Auch kann das Steigrohr ganz wegfallen und ein kurzer Kanal mit Hahn gleich unten über dem Boden der Wasserkammer ins Freie geführt werden, in welchem Falle der Schlauch dann an dieser Stelle anzuschrauben ist. Bisweilen wird auch ein drehbares Knierohr ohne Schlauch

gebraucht, wenn man nahe genug kommen kann, um den Wasserstrahl direkt ins Feuer zu treiben. — Das Spritzrohr, durch welches das Wasser in die Luft austritt, verengert sich von hinten nach vorn, so daß die Mündung bedeutend enger ist als der Schlauch oder das Steigrohr. Indem das Wasser sich durch diesen engen Ausgang drängen muß, erlangt es erst den Grad von Geschwindigkeit, den es außerhalb zeigt, während es im Schlauche viel langsamer vorrückt. Ist die Schlauchweite das Zwanzigfache der Rohrmündungsweite, so bewegt sich der Strahl auch zwanzigmal geschwinder als das Schlauchwasser; der geschwindeste Strahl aber kommt am weitesten. Wenn eine bestimmte Kraft auf eine geringe Masse bewegend wirkt, so erteilt sie derselben eine um so größere Geschwindigkeit, je kleiner die Masse ist, welche die Kraft aufnimmt; der dünnste Strahl bei gleichen Druckkräften muß der geschwindeste sein. Indessen wirkt er durch seinen geringeren Wassergehalt auch nur wenig, weswegen man sich der engsten Mundstücke nur ausnahmsweise bedient.

Man kann die saugende Wirkung der Spritzenkolben auch mehr in Anspruch nehmen und die Spritze ihr Speisewasser durch einen Schlauch selbst herbeiziehen lassen. Ferner kann eine Spritze der andern als Zubringer dienen, indem sie ihr Wasser mittels eines langen Schlauches in den Kasten der andern abgibt. Es sind auch Spritzen mit einer einzigen doppelt wirkenden Pumpe mit liegendem Cylinder gebaut worden, die recht kompendiös sind und den Vorteil gewähren, daß der frei liegende Cylinder bei starkem Froste durch Kohlenfeuer erwärmt werden kann zur Verhütung des Einfrierens.

Vor mehreren Jahren machte eine Drehspritze von Repsold einiges Aufsehen, indessen auch ohne sich in der Gunst des Publikums halten zu können. Sie zeigt einen rundlichen, auf einem Bocke liegenden, faßartigen Körper, an dessen beiden Enden Kurbeln stehen. Im Innern drehen sich zwei sogenannte rotierende Kolben gegeneinander, zwei Körper nämlich, die so ausgeschnitten sind und so ineinander greifen, wie zwei Zahnräder mit sehr tief ausgeschnittener grober Verzahnung, ein Prinzip, das in derselben Form auch zu Gebläsen und Pumpen Anwendung gefunden hat (s. Kapselpumpe). Indem diese Ausschnitte beständig Wasser zwischen sich nehmen und in den Schlauch hinausdrücken, entsteht dadurch auf der andern Seite beständig Ansaugung, welche mittels eines Schlauches neues Wasser herbeizieht. Die schwache Seite dieser Maschinerie liegt in der Schwierigkeit, zwischen Kolben und Wandungen eine genügende Dichtung herzustellen, ohne die Beweglichkeit sehr zu beeinträchtigen; außerdem aber verzehrte die große Reibung sehr viel Kraft, was freilich seit der Einführung der Dampfkraft in den Feuerspritzenbetrieb kein Hindernis mehr sein kann.

Die Kolbendichtung, das wichtigste Moment, ist bei den gewöhnlichen Pumpenspritzen sehr schwierig in gutem Stande zu erhalten, weil der ganze Apparat ja die längste Zeit über trocken steht. Man hat daher mit Erfolg eine Dichtungsmethode angewandt, die zunächst bei den hydraulischen Pressen in Anwendung gebracht wurde. Der Kolben hat ringsum eine Vertiefung eingeschnitten, in welcher ein lederner Ringkragen eingesetzt ist. Von dem Raume hinter dem Leder führen kleine Kanäle durch den Kolben und münden an seiner Unterseite. Das hier eintretende Wasser hält den Lederwulst gespannt. Manche Spritzenfabrikanten dichten aber auch ganz ohne Zwischenmittel, indem sie den massiven Metallkolben aufs genaueste passend im Stiefel gehen lassen; freilich ist hierbei die Verletzung durch eindringenden Sand sehr leicht.

Eine sehr bequeme Form haben die Feuerspritzen des Pariser Pompierkorps, die auch in Deutschland Aufnahme gefunden haben. Bei ihnen scheint die leichte Manövrierfähigkeit aufs höchste gesteigert; sie sind von kompendiösem Bau, werden auf einem zweiräderigen Karren durch drei oder vier Mann zur Stelle geschafft, zum Gebrauch aber abgehoben und auf den Boden gesetzt, wo sie auf ein Paar Kufen, die sie unten an sich haben, noch weiter aus einer Position in die andre geschleift werden können.

Dampfspritzen sind zuerst in Amerika und England gebaut worden, sie haben aber erst in der neuesten Zeit angefangen, in größeren Städten sich mit in Geltung zu bringen. Obgleich sie bedeutende Mengen Wasser werfen können, so daß sie eigentlich nur an fließendem Wasser brauchbar sind, so ist ihr Nutzen doch durch ihre große Schwerfälligkeit und den Zeitverlust, der durch das Anheizen entsteht, sehr beschränkt. Zudem ist die Anschaffung eines solchen Werkes sehr kostspielig, und an seinem komplizierten Mechanismus kann beim Gebrauche leicht ein Bruch vorkommen, der die Maschine außer

Dienst setzt. Man kann sich die Dampfspritze als eine Vereinigung von Lokomobile und Spritze denken; der Pumpenmechanismus ist nicht wesentlich anders beschaffen als bei der gewöhnlichen Spritze, nur daß die Dampfkraft an Stelle der Handarbeit getreten ist.

Die hydraulische Presse. Im Anschluß an das Vorhergegangene wollen wir noch ein interessantes Pumpwerk betrachten, das zwar seinem Zwecke nach mit den gewöhnlichen Pumpen und Spritzen nichts gemein hat, aber doch theoretische Vergleichungspunkte zuläßt. Die hydraulische Presse pumpt nichts herbei und nichts fort, das Wasser in ihr bildet vielmehr einen Teil der Maschinerie selbst, gleichsam den Körper eines Hebels. Genau betrachtet stellt die Maschine eine umgekehrt zu handhabende Spritze dar. Während der Kolben der Spritze langsam und kräftig vordringt, erteilt er dem herausfahrenden dünnen Strahle eine verhältnismäßig viel größere Geschwindigkeit. Die hydraulische Presse dagegen wirkt vom dünnen Ende her, indem sie einen schwachen Strahl auf einem engen Wege in einen weiten Raum eintreibt und hier einen Kolben von größerem Querschnitt zwar langsamer, aber mit um so mehr verstärkter Gewalt aus seiner Stelle verdrängt.

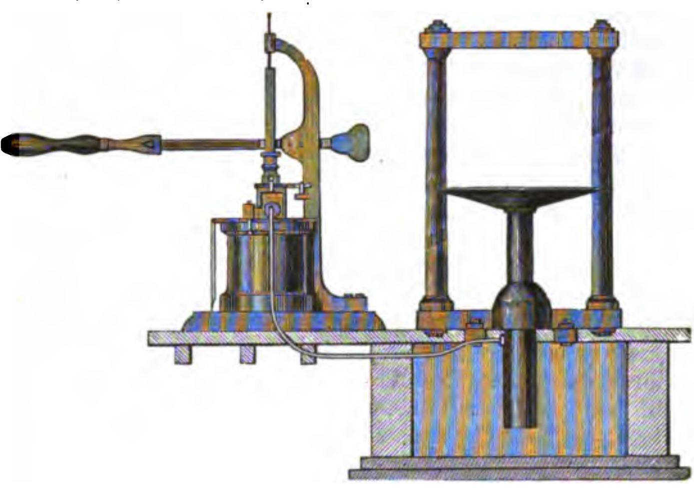


Fig. 200. Vorderansicht der hydraulischen Presse.

Das Prinzip der hydraulischen oder — nach ihrem Erfinder — Bramahpresse liegt in der hydrostatischen Presse, wovon Fig. 200 eine Idee geben kann. Der Kolben hat einen viel geringeren Querschnitt als das Steigrohr. Nehmen wir an, er sei bloß $^1/_4$ so groß, so wird, wenn er um 1 m in den Stiefel niedergeht, so viel Wasser aus diesem heraus und in das Steigrohr gepreßt werden, daß es hier um $^1/_4$ m steigt. Hindert aber ein Stempel das Aufsteigen, so erfährt dieser einen entsprechenden Druck, und zwar auf jeden Quadratdezimeter des Querschnitts genau so viel, wie der Druckkolben mit je 1 qdcm Querschnitt ausübt. Wenn der letztere demnach 1 qdcm Fläche hat, mit einem Gewicht von 5 kg belastet wird und der Stempel im Kolben, wie angenommen, 4 qdcm Fläche besitzt, so ist der Auftrieb des letzteren gleich einem Druck von 20 kg, sein Weg aber nur ein Viertel des Kolbenweges, und die beim Hebel entwickelten Verhältnisse von Weg und Kraft zeigen sich auch hier, wie bei allen hydraulischen Maschinen, als fundamentale Gesetze. Durch entsprechende Änderungen der Kolbendurchmesser kann man daher Leistungen ausführen, die dem Laien geradezu unbegreiflich mächtig erscheinen. Die vorhandene Kraft wird ohne Kraftgewinn nur anders verteilt oder, wie beim mechanischen Hebel, auf einen kürzeren Weg konzentriert.

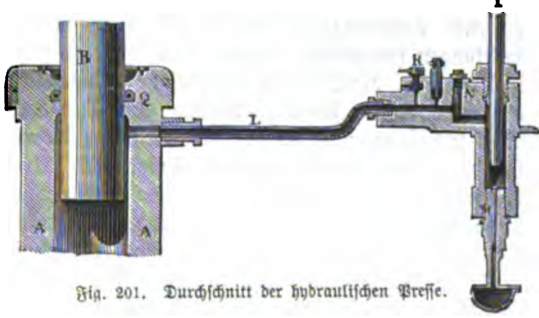


Fig. 201. Durchschnitt der hydraulischen Presse.

Bei den Wassersäulenmaschinen wirkt der Druck einer hohen Wassersäule auf einen Kolben durch eine schieberähnliche Vorrichtung, bald von oben, bald von unten zugeleitet, und dies wechselnde Spiel läßt sich vorteilhaft zur Regierung großer Pumpwerke benutzen. Die hydraulischen Pressen wirken auch durch die gleichmäßige Fortpflanzung des Druckes, aber stetig nach einer Richtung.

Die beiden Abbildungen Fig. 200 und 201 geben uns die eine die Vorderansicht, die andre den erläuternden Durchschnitt einer hydraulischen Presse. Die einfache Arbeit besteht bei derselben darin, daß mittels des kleinen Mönchkolbens I Wasser oder Öl in einen starken metallenen Cylinder A gepumpt und dadurch der darin stehende große Kolben B langsam emporgetrieben wird. Das Innere des Pumpenstiefels, in welchem sich der Kolben I bewegt, wird durch zwei Ventile wie jede kombinierte Saug- und Druckpumpe abgeschlossen. Das eine über dem Saugrohre M öffnet sich nach innen, wenn der Kolben in die Höhe geht; das andre, N, nach dem Zuführrohr L öffnet sich nach außen, wenn der Kolben hinabgeht und das aufgesaugte Wasser durchpreßt. Der große Druck im Innern des Cylinders A schließt es, sobald durch den Aufgang des Kolbens die Saugarbeit wieder beginnt. Auf dem Kopfe des Stempels B liegt die eine Preßplatte, die andre ist oben zwischen starken Säulen befestigt. Die Durchschnittzeichnung belehrt uns, daß beide Kolben die Plungerform haben. Ihre unteren Teile stehen also frei in der Flüssigkeit, und somit ist es gleichgültig, daß der Wasserstrahl nicht unter dem großen Kolben, sondern seitlich weiter oben einmündet.

Der Druckpumpenstempel I hat nur einen geringen Durchmesser (3—6 cm) und das Zuführrohr L ist nicht weiter als etwa 1 cm. Hieraus geht hervor, daß mit jedem Drucke nur eine unbedeutende Menge Wasser in den großen Cylinder herübergeschafft wird. Wäre also zwischen diesem und seinem Kolben kein vollkommen dichter Verschluß, so könnte hier leicht so viel Wasser oben wieder herausspritzen als zugepumpt wird; die Dichtung am Preßcylinder wird deshalb in folgender Weise eingerichtet. In den Hals des Cylinders ist rings herum eine Auskehlung eingeschnitten, in welcher eine Liderung (die Manschette) liegt, ein Stück Leder oder Guttapercha, welches zu einem flachen Ring Q (s. Fig. 201) geschnitten und mit beiden Kanten nach unten gebogen ist. Der Kolben A reibt sich demnach auf seinem ganzen Umfange an der inneren Seite dieses Lederkragens. Wird nun der Cylinder mit Wasser vollgepumpt, so treibt dieses jenen hohlen Ring auseinander, soweit die Wände der Hohlung einerseits und der vorbeigehende Kolben anderseits dies zulassen. Es folgt also daraus, daß, je mehr der Wasserdruck wächst, um so stärker das Leder an den Kolben angepreßt wird, und durch dieses einfache Mittel ist jedem Entweichen von Wasser vorgebeugt. — Die Pressung kann schließlich noch dadurch gesteigert werden, daß man die Bolzen, um welche sich der Druckhebel dreht, in ein zweites Loch versetzt. Hierdurch wird der Hebelarm der Last um die Hälfte verkürzt, während der Krafthebel gleichlang bleibt, und man kann nun mit derselben Kraft den doppelten Druck ausüben. Durch passende Änderung der Verhältnisse kann man die einzelnen Druckkräfte zu ungeheuren Wirkungen summieren, ja man kann, ohne es zu wollen, wenn man nicht die nötige Vorsicht walten läßt, die Maschine in Gefahr bringen, zu zerbersten. Um dies zu vermeiden, ist an einer Stelle zwischen Pumpe und Cylinder (in Fig. 201 zwischen N und R) ein Sicherheitsventil angebracht. Geht der Druck über die höchste zulässige Höhe, so öffnet sich das Ventil und das Wasser spritzt aus. Außerdem ist gewöhnlich noch ein Ventil R vorhanden, um das Wasser aus dem Kolben zurücktreten zu lassen, wenn der Druck aufhören soll. Öffnet man diesen Ausgang, so sinkt der Kolben A mit seiner Last nieder und das Wasser fließt in den Behälter unter der Pumpe zurück.

Da die inneren Teile der Maschine sehr fein gearbeitet sein müssen und schon ein Sandkorn eine Störung verursachen könnte, so muß auch für Reinhaltung des benutzten Wassers gesorgt sein. Es befindet sich daher unter der Pumpe ein feiner Durchschlag, welchen das aufgesaugte Wasser passieren muß.

Die Kraftwirkung an der hydraulischen Presse läßt sich leicht durch Rechnung finden. Es wirke z. B. auf den Druckhebel eine Kraft von 50 kg, die Hebellänge bis zum Stützpunkte sei 1 m, der Anhängepunkt der Kolbenstange vom Stützpunkte 10 cm entfernt, so beträgt die auf letztere wirkende Kraft 500 kg. Beträgt nun der Querschnitt des großen Kolbens das 400fache des kleinen, so übt die Presse einen Druck von 20000 kg aus. Für manche Zwecke, z. B. zum Auspressen des Rübensaftes in Zuckerfabriken, ist noch ein bedeutend höherer Druck erforderlich, daher denn hier die kleinen Pumpen nicht mehr von Menschenhand, sondern durch Dampfmaschinenkraft in Bewegung gesetzt werden.



Es lehrt ein großer Physikus
Mit seinen Schulverwandten:
„Nil luce obscurius!“
Jawohl! für Obskuranten.

Goethe.

Das Licht.

Ansichten der Alten über dasselbe. Kepler. Cartesius. Huyghens. Newton. Die Undulations- und die Emanationstheorie. Das Licht besteht aus Schwingungen. Fortpflanzung. Messung der Geschwindigkeit durch die Verfinsterung der Jupitersmonde von Cassini und Römer. Aberration. Bradley. Fizeaus Methode. Abnahme der Intensität mit der Entfernung. Rumfordsches Photometer. Polarisiertes und gemeines Licht. Praktische Anwendung der Polarisation in der Technik. Mikrogeologie.

Licht und Wärme — die Geschenke, durch welche die Sonne Leben gibt, fördert und bildet — sie sind die Grundbedingungen alles organischen Seins, und wenn die Wärme die Kraft bedeutet, so bedeutet das Licht die Herrlichkeit, Geist und Verstand. Die Nahrung gibt unserm Körper Wärme, unsern Muskeln Spannung, aber wir blieben hilflose Geschöpfe, wenn wir kein Organ für das Licht besäßen, keine Fähigkeit, Bilder von der Außenwelt in uns aufzunehmen. Das Auge bereichert uns mit Erfahrungen, die wir mit keinem unsrer übrigen Sinne machen könnten.

Darum setzt jede Sprache Licht und Klarheit, Weisheit und Erleuchtung als engverwandte Begriffe nebeneinander. Wenn wir die durch das Licht bedingten natürlichen Erscheinungen einerseits und die davon gemachten Anwendungen, die optischen Instrumente und Methoden zu wissenschaftlichen und praktischen Zwecken anderseits betrachten, und dieselben dann mit den Phänomenen der Wärme und den darauf sich gründenden Apparaten und Maschinen vergleichen, so bemerken wir leicht den Unterschied, welcher uns die sublimere Natur des Lichtes bezeichnet. Es darf uns daher auch nicht wunder nehmen, wenn die Vorstellungen über die wahre Natur des Lichtes Jahrtausende Zeit brauchten, um sich zu klären und der Wahrheit zu nähern.

Schon das frühe Altertum hat vom Wesen des Lichtes sich seine eignen Begriffe zu machen gesucht. Allein die Philosophen gingen auf falschen Pfaden. Analog den übrigen körperlichen Empfindungen dachte man sich das Sehen als eine Art Tastempfindung. Feine Fühler möchten gewissermaßen vom Auge ausgehen und dort, wo sie auf entgegenstehende Körper träfen, Eindrücke empfangen. Die Lichtbewegung sollte also, wie noch in der dem Euklid zugeschriebenen Optik ausgesprochen wird, nicht von dem gesehenen Körper, sondern vom Auge aus stattfinden. „Die Gestalt unsrer Augen", heißt es in einem Werke des Heliodor von Larissa, „welche nicht hohl, noch so wie die andern Sinne eingerichtet sind, beweist, daß das Licht aus ihnen ausströmt." Wie eine empfangende Hand, meinte man, müßten die Augen geformt sein, wenn sie etwas von außen Kommendes aufnehmen sollten; und da dies nicht der Fall wäre, da ferner die Augen sehr glänzend seien und manche Menschen und Tiere selbst bei Nacht sollten sehen können, so gab man bereitwillig einer Ansicht Raum, die erst einer strengeren Untersuchung erlegen ist.

Platon fühlte das Ungenügende dieser Theorie, er vermochte aber doch nicht sich ihrer ganz zu entschlagen. Nur glaubte er, daß das Licht (die Ursache des Sehens) nicht bloß von den Augen, sondern ebenso auch von den gesehenen Körpern ausginge, und daß durch das Zusammenstoßen der beiden Strahlen die Empfindung des Sehens hervorgerufen werde. Erst Aristoteles verwarf die langgehegte Anschauung, welche das Auge gewissermaßen mit einer Laterne verglich. Das Auge könne nicht so feuriger Natur sein, vielmehr müsse es im Innern wässerig und durchsichtig sein, weil der Sehnerv an der hintern Wand liege; das Sehen werde durch Bewegungen eines durchsichtigen Mittels zwischen dem gesehenen Gegenstande und dem Auge bewirkt.

Diese Ansicht, welche wir als den Embryo der späteren Theorien über das Licht betrachten können, erhält durch Lucrez in andrer, bestimmter Weise Ausdruck:

> Also sag' ich, es senden die Oberflächen der Körper
> Dünne Figuren von sich, die Ebenbilder der Dinge;
> Häutchen möcht' ich sie nennen und gleichsam die Hüllen von diesen;
> Denen entflossen umher sie die freien Lüfte durchströmen —

heißt es in dem Gedicht „De rerum natura", und wenn wir bei Aristoteles gewisse Keime der erst neuerdings zu vollständigem Siege gelangten Wellentheorie erkennen könnten, so möchten uns diese Lucrezischen Verse einige Ähnlichkeit mit den Sätzen der bis dahin angenommenen Emanationstheorie auszudrücken scheinen.

Daß das Licht von den sichtbaren Körpern ausgehe, hatte sich im Mitteralter zur positiven Wahrheit unter den Philosophen erhoben (Optik des Alhazen, eines gelehrten Arabers). Keiner aber von allen denen, die sich mit der Erörterung der auf das Licht und die optischen Phänomene bezüglichen Fragen beschäftigten, hat übrigens eine mathematische Behandlung des Gegenstandes versucht.

Der erste, welcher auf exaktem, strengem Wege sich an die Erklärung der optischen Phänomene wagte, war Kepler. Das Licht selbst hält er für nichts Körperliches. Er spricht sich zwar nicht mit Bestimmtheit über die Natur desselben aus, allein es hindert ihn dies nicht, die physikalischen Erscheinungen der Intensitätsabnahme, Brechung, Spiegelung &c. ihrer Quantität nach zu bestimmen. Da er diese Erscheinungen zunächst mechanischen Gesetzen unterworfen zeigte und auch auf ganz selbständige Weise ihre Berechnung vornehmen lehrte, so hat man die ersten wirklich nutzbaren Begriffe und Erfahrungen ihm zu danken. Das Wesen des Lichtes blieb dabei ganz aus dem Spiele; wären aber die mechanischen

Wissenschaften damals schon so ausgebildet gewesen, wie sie es heute sind, so würde Kepler und ebenso der nach ihm zunächst in der Geschichte der Optik folgende Cartesius mit Leichtigkeit diesem Teile der Physik einen Weg haben vorzeichnen können, auf welchem ein langer und bis in die Gegenwart hinreichender ununterbrochener Streit unter den Anhängern zweier Hypothesen umgangen worden wäre.

Zunächst waren es die merkwürdigen Erscheinungen der Lichtbrechung, welche die Frage nach der inneren Natur des Lichtes wieder in den Vordergrund stellten. Wir können hier auf eine detaillierte Untersuchung nicht eingehen und müssen uns begnügen, zu erwähnen, daß Cartesius durch die Phänomene der Spiegelung darauf geführt wurde, die Lichtstrahlen als materielle Körperchen anzusehen und sie mit einem geworfenen Balle zu vergleichen, der, auf einen widerstehenden Körper aufschlagend, von demselben unter gleichem Winkel wieder abspringt. Dieser Vergleich würde, um auch für die Erklärung der Brechungserscheinungen zugelassen zu werden, voraussetzen, daß sich das Licht in einem dichteren Körper (Glas, Wasser) rascher bewegt als in einem dünneren (Luft). Fermat bestritt dies mit der Behauptung, daß dichtere Mittel der Lichtbewegung einen größern Widerstand entgegensetzen müßten als dünnere, und nahm zu einem besonderen Naturprinzip für die Erklärung der Brechung seine Zuflucht. Dieser Zeitpunkt ist deshalb von ganz besonderer Wichtigkeit, weil jetzt zum erstenmal die Kardinalfrage nach der Geschwindigkeit des Lichtes eine bestimmte Fassung erhielt. War die Geschwindigkeit in dichteren Mitteln wirklich eine größere als in dünneren, so ließen sich die Phänomene der Brechung mit der Annahme kleiner, von dem leuchtenden Körper ausgestoßener Lichtkügelchen erklären (Emanations- oder Emissionstheorie). Verlangsamte dagegen das Licht in seiner Geschwindigkeit, wenn es in dichteren Körpern sich weiter bewegen sollte, so war diese Hypothese unzulässig und es mußte nach einer andern Erklärung gesucht werden.

Sehr bald nach Cartesius trat Hooke auf (1665) und lehrte, das Licht bestehe in Schwingungsbewegungen; aber erst Huyghens schuf aus demselben Gedanken eine vollständige Theorie.

Ich fürchte nicht, daß es unter den Lesern einen gibt, welcher die Aufwendung großer Mühe und die Anstrengungen der bedeutendsten Geister zur Lösung so sublimer Fragen, wie die eben ausgesprochenen, als überflüssig und spitzfindig ansehen möchte. Aber selbst derjenige, der den hohen Stand unsrer heutigen Kultur in seinem Umfange begreift und mit beglückendem Stolze sich als den Sohn einer Zeit fühlt, die in jeglicher Art des Reichtums weit über allen Zeiten der Vergangenheit steht, richtet den Blick der Dankbarkeit gewöhnlich nicht weit genug zurück und fängt gern da an zu vergessen, wo ihm der Nutzen für das praktische Leben nicht mehr so ohne weiteres in die Augen springt; — darum dieser Rückblick auf die entlegenen Vorstufen einer Wissenschaft, welche die für die Menschheit vielleicht allerbedeutendste Disziplin umfaßt. Die große Menge freut sich zwar der Fruchthändler, sie vergißt aber gern derer, welche die Bäume pflanzten.

Huyghens' Wellentheorie, Undulations- oder Vibrationstheorie. Wenn wir einen Stein in den ruhigen Spiegel eines Teiches werfen, so sehen wir von dem Punkte des Einfallens aus gleichmäßige Wellenringe nach allen Seiten hin fortschreiten, bis sie, mit der größeren Entfernung immer schwächer werdend, endlich verschwinden. Wie der eine Ring nach außenhin sich fortbewegt hat, folgt ihm ein zweiter, und in regelmäßiger Abwechselung sehen wir dieselben Punkte des Wasserspiegels sich zu kleinen Bergen erheben oder als kleine Thäler hinabsenken. Das Wasser selbst geht dabei nicht wesentlich vorwärts, seine Teilchen kehren — das können wir beobachten, wenn wir ein kleines Stückchen Holz darauf werfen — immer wieder zurück; sie machen bloß auf- und niedergehende oder allenfalls elliptisch in sich zurückgehende Bewegungen, die ganz den Schwingungen eines Pendels zu vergleichen sind. Alle diese Schwingungen und Ausweichungen ergeben als Summe die Welle. Dieselbe verschwindet, wenn endlich die kleinen Wasserteilchen durch die unausgesetzt wirkende Reibung allmählich ihre Kraft verloren haben.

Die Welle selbst ist sonach nichts Körperliches, sie ist nur ein Bewegungszustand. Sie pflanzt sich in gerader Richtung fort, wenngleich ihre Form die eines Kreises oder strenger genommen eine Kugeloberfläche ist, denn ebenso unsichtbar geht die Bewegung auch auf

die über dem Wasser liegende Luft über und in die Wassermasse nach unten. In der letzteren freilich muß sie des großen Widerstandes wegen bald ersterben, in der ersteren wird sie für unsre Sinne unmerkbar. Die Wasserwelle vermögen wir mit dem Tastsinn zu fühlen. Wer jemals am Strande gelegen und sich von der salzigen Flut bespülen ließ, weiß dies am besten. Luftwellen, die, weil sie nicht wie das Wasser in ein minder dichtes Mittel ausweichen können, in abwechselnden Verdichtungen und Verdünnungen der Luft bestehen müssen, werden uns erst merkbar, wenn sie einander mit großer und regelmäßiger Geschwindigkeit folgen; sie erregen das Trommelfell unsrer Ohren und wir nennen sie Schall oder Ton.

Wie die Ursache des Schalles nun nichts als eine Erregung unsrer Nerven durch Bewegung ist, so, sagt Huyghens, ist auch die Ursache der Lichtempfindung, schlechtweg das Licht selbst, nichts andres, als die Wellenbewegung einer besonderen, überaus feinen, durch das ganze Weltall verbreiteten Substanz (Lichtäther), für uns nicht fühlbar, weil sie so dünn sein muß, daß ihre Teilchen noch zwischen den Atomen der durchsichtigen Körper wie Glas und Diamant sich bewegen und die Lichtwellen hindurchtragen können. Gelangen diese in unser Auge, so bewirken sie die Empfindung, die wir „Sehen“ nennen, wie die Luftwellen die Empfindung des „Hörens hervorrufen.

Durch welche Kraft ein leuchtender Körper die Schwingungen des Äthers hervorbringt, dies zu untersuchen würde uns zu weit führen; es genügt anzunehmen, daß seine kleinsten Teilchen in einem Zustande höchster Erregung sich befinden und diese oszillierende Bewegung den benachbarten Ätherteilchen mitteilen, welche sie dann ihrerseits weiterpflanzen, gerade wie eine gespannte Saite, wenn sie sich vom Bogen losreißt, anfängt hin und her zu schwingen, dadurch abwechselnd Verdichtungen und beim Zurückgehen Verdünnungen der vor ihr befindlichen Luft hervorzurufen, die sich fortpflanzend in unser Ohr gelangen und dort den Gehörnerv erregen.

Wenn die Elastizität des Lichtäthers nach keiner Seite hin gehemmt ist, so werden die Lichtwellen vom leuchtenden Punkte aus, den wir uns in vibrierender Bewegung vorstellen müssen, nach allen Seiten hin gleichmäßig fortschreiten, und die Hauptwelle wird die Oberfläche einer um den leuchtenden Punkt gelegten Kugel darstellen. Sind aber nach gewissen Richtungen hin die Elastizitätsverhältnisse ungleich, so wird die Wellenoberfläche ihre Kugelform verlieren und dafür eine andre, je nach den Umständen veränderte Gestalt annehmen.

Dies geschieht in Kristallen, die nicht zum regulären Systeme gehören, und die daran beobachteten sehr mannigfachen Erscheinungen sind für die Huyghenssche Theorie eine wesentliche Stütze geworden.

Es ist wunderbar, daß sich Newton dieser Theorie, welche nach unsern heutigen Betrachtungen so einfach ist und, wie wir im Verlaufe späterer Betrachtungen noch sehen werden, die Erscheinungen sämtlich auf die ungezwungenste Weise erklären läßt, nicht ohne weiteres vollständig anschloß. Zwar geht aus seinen Werken nicht, wie viele behaupten wollen, mit Bestimmtheit hervor, daß er geradezu sich gegen die Undulutionstheorie ausgesprochen habe, vielmehr lassen einzelne Bemerkungen eher einen beistimmenden Sinn zu. Indessen zu einer entschiedenen Annahme ist er nicht gekommen. Ebensowenig können aber auch die Anhänger der Emanationstheorie, welche sich von den fernsten sichtbaren Weltkörpern leuchtende Punkte zuschießen lassen wollte, Newton zu den Ihrigen zählen. Er ließ — wie Kepler — die Frage, was das Licht sei, in der Schwebe und beschäftigte sich ausschließlich mit der Untersuchung seiner Erscheinungen und mit deren mathematischer Behandlung.

Die Emanationstheorie ist nicht von Newton erfunden, nicht einmal von ihm in ihrem vollen Umfange ausdrücklich adoptiert worden. Wir wir gezeigt haben, liegen ihre Wurzeln weiter zurück. Daß aber ihre Anhänger sich auf den großen Mathematiker beriefen und auf seine Autorität hin bis in unsre Zeit, wo Biot und Brewster ihr noch anhingen, diese Theorie sich erhalten konnte, hatte seinen Grund in der falschen Auffassung einiger Sätze der Newtonschen Schriften, deren weitere Auseinandersetzung hier nicht Zweck sein kann.

Für die heutige Physik gilt es als ausgemacht, daß das Licht aus Schwingungen besteht, wie es Huyghens gelehrt hat. Durch Fresnel, Young, Cauchy, Malus, Arago und andre ist dies durch mathematische Entwickelung sowohl als auf experimentale Weise

überzeugend dargethan und damit die Möglichkeit eines Zusammenhanges und einer Umwandelbarkeit der physikalischen Kräfte, wie sie die Neuzeit in dem Gesetz von der Wechselwirkung der Naturkräfte bewiesen hat, erst an den Tag gelegt worden. Die physiologischen Erscheinungen des Lichtes, deren Gesetze durch Helmholtz eine erschöpfende Untersuchung erfahren haben, bestätigen auf das vollständigste die Ergebnisse der Schwesterwissenschaften, und der Satz von der Wellennatur des Lichtes darf jetzt als ein unumstößlicher angesehen werden.

Fortpflanzung des Lichtes. Es läßt sich leicht beobachten, daß sich das Licht in gerader Richtung und nach allen Seiten hin fortpflanzt, man darf nur in die Linie zwischen das Auge und den leuchtenden Punkt einen undurchsichtigen Körper bringen, augenblicklich wird der Lichteindruck verschwinden; das Auge befindet sich im Schatten. Wenn ein Körper von einem leuchtenden Punkte bestrahlt wird, so wird also der Schatten, den er wirft, einen Kegel bilden müssen, dessen Seiten von den Strahlen gebildet werden, welche von dem lichtgebenden Punkte als Tangenten die äußerste Umgrenzung des undurchsichtigen Körpers streifen. Dieser ganze Schattenkegel ist völlig finster und lichtlos. Ist dagegen die Lichtquelle nicht ein Punkt, sondern ein leuchtender Körper, so gehen von jedem Punkte desselben Lichtstrahlen nach allen Richtungen aus, und jeder dieser unzähligen leuchtenden Punkte bildet hinter dem undurchdringlichen beleuchteten Körper seinen besonderen Schattenkegel. Da aber, wie Fig. 203 zeigt, gewisse dieser Schattenkegel teilweise von andern Lichtkegeln erhellt werden, so grenzt sich von dem ganz lichtlosen Schatten, dem Kernschatten, ein diesen umhüllender Mantel ab, welcher nach innen mehr, nach außen weniger beleuchtet ist und Halbschatten genannt wird.

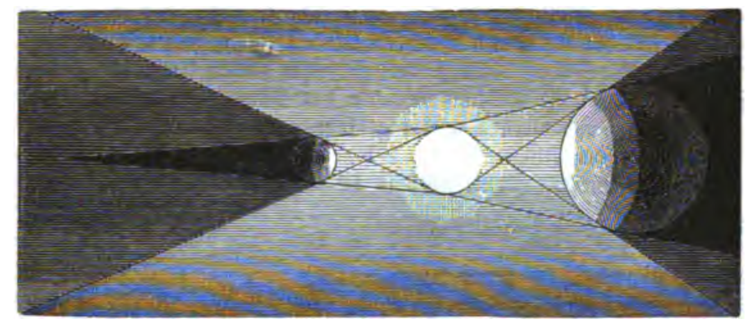


Fig. 203. Kern- und Halbschatten.

Daß das Licht zur Durchlaufung seines Weges auch Zeit braucht, ist eine Notwendigkeit, die aus der Undulationstheorie ebenso wie aus der Emissionstheorie hervorgehen würde, und es muß sehr wichtig erscheinen, Mittel und Wege zu finden, die Geschwindigkeit des Lichtes genau zu messen und ihre Verschiedenheit in verschieden dichten Körpern zu bestimmen. Von allen irdischen Bewegungen ist keine im stande, uns eine Idee von der Größe dieser Geschwindigkeit zu geben. Zu solch außerordentlichem Zwecke werden daher auch ganz außerordentliche Maßmethoden angewandt werden müssen, von denen wir die wichtigsten unsern Lesern zum Verständnis zu bringen suchen wollen.

Messung der Geschwindigkeit des Lichtes. Es wird gewöhnlich angenommen, daß Olaf Römer, ein dänischer Astronom, zuerst (1675) aus den Beobachtungen der Verfinsterung der Jupitersmonde diese Aufgabe im allgemeinen gelöst habe.

Der Jupiter ist von vier Monden umgeben. Der erste derselben hat eine Umlaufszeit von 42 Stunden 28 Minuten 42 Sekunden und seine Bahn liegt mit der seines Planeten in einer Ebene, so daß er bei jedem Umlaufe einmal in den Schatten desselben eintreten und eine Verfinsterung erleiden muß. Nur bleibt aber die Zeit zwischen dem Eintritt zweier solcher Verfinsterungen nicht dieselbe. Wenn die Erde sich auf den Jupiter zu bewegt, erfolgt sie 14 Sekunden früher; wenn sie dagegen sich von ihm entfernt, verzögern sich die Verfinsterungen um dieselbe Zeitdauer von 14 Sekunden.

Über dies Phänomen teilte, wie Montucla nachgewiesen hat, Dominic Cassini zuerst am 12. August 1675 den Astronomen eine neue Ansicht mit, nach welcher die Veränderung der Verfinsterung daher rühren sollte, daß das Licht einige Zeit nötig habe, um von den Trabanten des Jupiter bis zu uns zu gelangen; da die Erde bei der Hinbewegung

sich dem Jupiter in $42\frac{1}{2}$ Stunden um 590000 Meilen genähert habe, so hätten die Lichtstrahlen auch diesen Weg weniger zurückzulegen. Bei der Entfernung der Erde müßten sie 590000 Meilen weiter laufen, um die Erde zu treffen, und könnten diese also auch entsprechend später erst einholen. Damit hatte Cassini das Richtige getroffen. Die damaligen Messungen waren jedoch noch zu ungenau, und die daraus hervorgehende mangelhafte Übereinstimmung der Resultate ließ Cassini seine Idee später selbst wieder aufgeben. Römer jedoch, der von Picard nach Paris berufen worden war, fand an dem Cassinischen Schlusse vielen Reiz, und es gelang ihm durch eine große Zahl von Beobachtungen, diese Theorie auch gegen die Einwendungen, die Cassini später selbst sowie seine Anhänger erhoben, mit der überzeugendsten Klarheit zu verteidigen. Wenn ihm demzufolge zwar nicht die Ehre der Priorität zuerkannt werden kann, so darf doch die Wissenschaft seine durchgreifende Beweisführung mit nicht minderem Ruhme ehren, als die erste von ihrem eignen Urheber wieder verlassene Idee.

Wenn das Licht, wie Römer fand, 14 Sekunden braucht, um 590000 Meilen zu durchlaufen, so muß es in einer Sekunde nahezu 42000 Meilen zurücklegen. Eine Bestätigung der Römerschen Messung gab 50 Jahre später (1729) der englische Astronom Bradley durch die Entdeckung der kleinen, scheinbaren jährlichen Bewegungen, welche die Fixsterne zeigen (Aberration des Lichtes). Am genauesten aber und durch ein auf das scharfsinnigste ausgedachtes Maßverfahren hat (1849) der französische Physiker Fizeau die Geschwindigkeit des Lichtstrahles direkt bestimmt.

Fizeaus Methode. Denken wir uns die vier Flügel 1, 2, 3, 4 einer Windmühle genau so breit wie die dazwischen liegenden leeren Räume, und nehmen wir an, daß die Welle, an welcher die Flügel befestigt sind, zu einem vollen Umgange gerade 8 Sekunden braucht, so wird eine gewisse Richtung zwischen den Flügeln hindurch alle Sekunden viermal abwechselnd frei und viermal wieder geschlossen sein. In dieser Richtung nun soll ein Gummiball zwischen den Flügeln 1 und 2 hindurch gegen eine dahinter stehende Wand geworfen werden. Steht die Mühle still, so kommt der Ball zwischen denselben Flügeln 1 und 2 wieder zurück; bewegt sie sich aber, so wird während seines Hin- und Herganges die Stellung der Flügel sich geändert haben und der Ball nicht mehr an derselben Stelle zwischen ihnen zurückkommen. Wenn er bis an die Wand gerade eine halbe Sekunde Zeit braucht, und eben so viel wieder zurück, so hat die Welle während der Zeit, wo er hin und her flog, genau $\frac{1}{8}$ Umdrehung durchlaufen und der Ball trifft auf seinem Rückwege anstatt des offenen Zwischenraumes den festen Flügel 2, der ihn aufhält. Ist dagegen die Geschwindigkeit des Balles bloß halb so groß, daß er also zur Durchlaufung seines ganzen Weges 2 Sekunden braucht, so ist ihm zwar der Durchgang wieder frei geworden, allein er liegt diesmal nicht zwischen den Flügeln 1 und 2, sondern zwischen 2 und 3. Und so wird man, wenn man dann die Umdrehungsgeschwindigkeit der Flügel und die Entfernung der Mauer von denselben ganz genau kennt, die Geschwindigkeit des Balles zu berechnen vermögen je nach dem Teile des Kreisumfanges, um welchen während des Hin- und Herganges die Welle sich gedreht hat.

Auf ganz dem nämlichen Prinzipe beruht der Fizeausche Apparat; nur ist derselbe, der Natur der Sache gemäß, mit außerordentlicher Feinheit konstruiert. Die Abbildung Fig. 204 wird ihn in seinen Grundzügen veranschaulichen. Die ganze Vorrichtung besteht aus zwei Hälften I und II, welche beide nicht zu nahe, in etwa $7\frac{1}{2}$ km Entfernung voneinander, aufgestellt sind. Die röhrenförmigen Hälften werden durch astronomische Fernrohre O und O' genau einander zugerichtet. Die Beobachtungsstation befindet sich bei I. A ist die Lichtquelle, die eine große Leuchtkraft besitzen muß, B eine unter 45° geneigte, fein polierte, ebene Glasplatte, C ein Rad, das an seinem Umfange eine große Zahl gleichweit voneinander abstehender Einschnitte besitzt, die gerade in der Mittellinie des Apparates liegen. Diese Einschnitte sind genau so breit wie die dazwischen stehen gebliebenen Zähne. Das Rad läßt sich sehr rasch um seine Achse drehen; die Zahl der Umdrehungen und die Geschwindigkeit wird durch ein Uhrwerk fortwährend gezählt und kontrolliert. Auf der andern Station ist ein Spiegel D so aufgestellt, daß er die von der Glasplatte B ihm reflektierten Lichtstrahlen in derselben Richtung nach I wieder zurückwirft.

Die Strahlen nun, welche von der Lichtquelle ausgehen, werden zum Teil von der Glasplatte B in der Richtung nach II gespiegelt, zum Teil werden sie von der durchsichtigen Glasplatte durchgelassen. Diejenigen Strahlen aber, welche nach II zu reflektiert worden sind, werden hier von dem Spiegel D wieder zurückgeworfen und gehen teilweise durch die Platte B, so daß unter Umständen der Beschauer in O' die Lichtquelle A im Spiegelbilde bei D sehen kann. Wenn das Rad C ruhig steht und die Strahlen gerade zwischen zwei Zähnen hindurchgehen, so erscheint dieses Bild als ein kontinuierlich leuchtender Punkt; wird aber das Rad gedreht, so wird das Licht in lauter einzelne Partien zerschnitten, die sich um so rascher folgen, je rascher die Drehung des Rades ist.

Jeder dieser Lichtbüschel durchläuft seinen Weg zum Spiegel hin und zurück zum Beschauer, wie jener Gummiball, den wir durch die Windmühlenflügel warfen. Er wird auch ebenso aufgehalten, wenn sich während seines Weges ein Zahn des Rades in seine Richtung geschoben hat. Kommt der Zahn bloß zum Teil dazwischen, so wird von jedem Lichtbüschel auch nur ein Teil vernichtet, das Spiegelbild in D erscheint dem Beschauer schwächer leuchtend. Wenn aber die Geschwindigkeit des Rades so groß ist, daß gerade in derselben Zeit, wo der Strahl hin und zurück läuft, ein ganzer Zahn an die Stelle kommt, wo vorher ein Einschnitt war, so wird alles Licht aus D auf die Rückseite der Zähne fallen und durch die Einschnitte empfängt der Beobachter immer nur die Schatten, welche die Zähne bei ihrem Durchpassieren durch den Lichtstrahl nach D werfen. Das Bild in D verschwindet dann vollständig, es wird dunkel. Die Geschwindigkeit des Rades in diesem Falle werde 1 genannt.

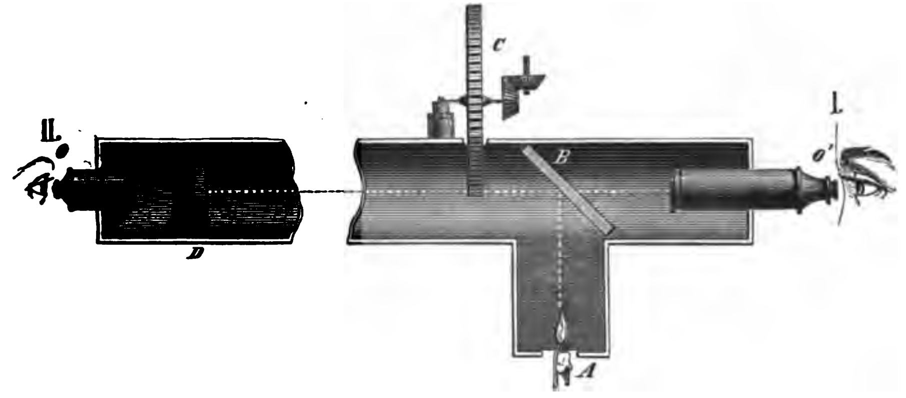


Fig. 204. Fizeaus Methode, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes zu messen.

Dreht man das Rad noch rascher, so gelangt ein Teil des zurückkommenden Lichtes durch den nächsten Einschnitt; wenn die Umdrehung mit der Geschwindigkeit = 2 stattfindet, entsteht wieder ein Maximum der Helligkeit, denn alle Lichtpartien, die durch den einen Zwischenraum hindurch zum Spiegel laufen, gelangen von da durch den nächsten Zwischenraum zurück in das Auge des Beobachters. Bei der Geschwindigkeit 3 ist es wieder ganz dunkel, bei 4 wieder am hellsten u. s. w.

Das Zahnrad, welches Fizeau anwandte, hatte 720 Zähne, jeder Zahn und jeder Einschnitt betrug also $^1/_{1440}$ eines Kreisumfanges; die Entfernung des Spiegels war $1,_2$ Meilen. Bei $12,_6$ Umdrehungen in der Sekunde erfolgte die erste Verfinsterung, bei $25,_2$ Umdrehungen war wieder vollständige Helle u. s. w. Daraus ergibt sich, daß das Licht nahezu $^1/_{18000}$ Sekunde braucht, um $2,_4$ Meilen Weg zurückzulegen, und daß es also sich in der Luft mit einer Geschwindigkeit von gegen 42000 Meilen in der Sekunde fortpflanzt. In Wasser, Glas und andern dichteren Mitteln zeigte sich die Geschwindigkeit geringer, und mit dieser neuen Bestätigung entzog die Huyghenssche Wellentheorie der Emanationshypothese die hauptsächlichste Stütze.

Um von der Sonne bis zur Erde zu gelangen, braucht das Licht gegen acht Minuten, von einzelnen Fixsternen mehrere Jahre, und wenn wir den gestirnten Himmel betrachten,

so zeigt uns derselbe nicht ein Bild, wie er in diesem Augenblicke wirklich ist, sondern wie er war, vor kürzerer oder längerer Zeit, je nachdem die betrachteten Welten uns näher oder entfernter sind. Ein Stern könnte plötzlich verschwinden und noch jahrelang würden wir seine Strahlen bemerken; sein Licht durchzittert noch den unendlichen Raum und erhält sein Bild am Firmament, bis die letztausgesandte Welle ihre Schwingungen vollbracht hat.

Intensität. Da sich das Licht nach allen Seiten fortpflanzt, so muß nach einem einfachen mechanischen Gesetz sich seine Intensität mit dem Quadrate der Entfernung vermindern. Eine Kerze leuchtet bei 2 m Entfernung nur ein Viertel so stark wie bei einem Abstande von 1 m. Um die Lichtstärke zu messen, eine Aufgabe (Photometrie), die für die praktische Astronomie sehr wichtig ist, hat man sehr sinnreiche Verfahren erdacht, deren Beschreibung zum großen Teil aber nur ein wissenschaftliches Interesse haben würde. Wir begnügen uns daher an dieser Stelle bezüglich desjenigen, was für das praktische Leben von Wichtigkeit ist, auf den V. Band dieses Werkes (Kapitel: Beleuchtung) zu verweisen.

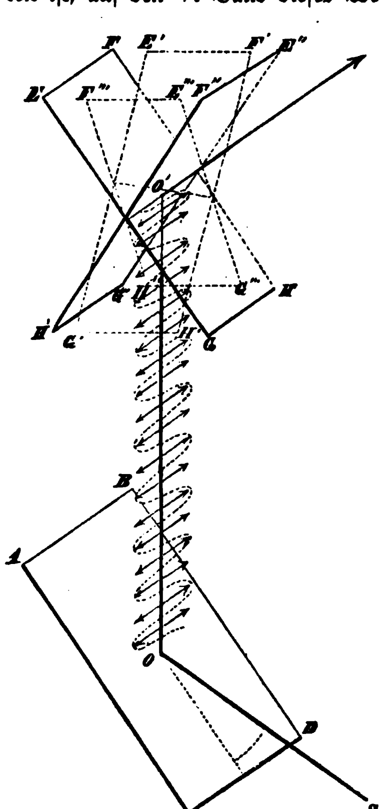


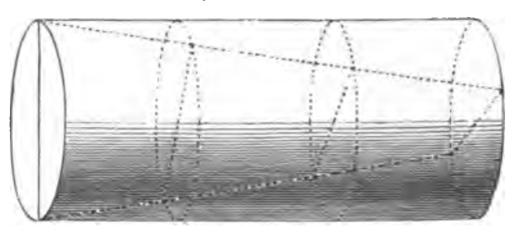
Fig. 205. Polarisation des Lichtes.

Polarisiertes Licht. Die einzelne Lichtwelle schwingt wie ein gespanntes Seil, auf dessen Ende man einen Schlag geführt hat, immer in derselben Ebene, indem die Ätherteilchen rechtwinkelig zur Richtung des Strahles bald rechts, bald links ausweichen. Den einfachsten Zustand repräsentiert das Licht demnach auch in dem Falle, wo alle seine Strahlen in gleicher Weise schwingen, wo ihre Schwingungsebenen untereinander parallel sind. Solches Licht heißt polarisiertes Licht, deswegen, weil es nach zwei Seiten hin anders sich verhält als nach der auf dieser Ebene senkrechten Richtung.

Indessen hat das Licht, wie es in der Natur entsteht, sei es durch den chemischen Prozeß der Verbrennung oder aus Wärme, durch Reibung 2c. oder aus Elektrizität, ebenso dasjenige, welches uns von der Sonne und den Fixsternen zugestrahlt wird, nicht diese einfache Eigenschaft. Solch gemeines Licht besteht vielmehr aus Strahlen, von denen der eine nach dieser, der andre nach jener Richtung schwingt. Man kann aber aus diesem Lichtgewirr das gleichförmig schwingende ausscheiden oder die Schwingungsebenen parallel machen; dies Verfahren nennt man die Polarisation des Lichtes und die dazu dienenden Apparate Polarisationsapparate. Schon Bartholin hatte gesehen, daß das Licht, wenn es durch gewisse Kalkspatkristalle (isländischen Doppelspat) geht, in zwei Strahlenbündel geteilt wird, welche von dem gewöhnlichen Lichte verschiedene Eigenschaften zeigen. Er hatte auch beobachtet, daß bisweilen diese Zerlegung nicht stattfindet, und Huyghens hatte die Verhältnisse festgestellt, unter welchen dies geschieht. Aber erst als Malus 1809 in Paris zufällig bemerkte, daß Sonnenstrahlen, die von gegenüberliegenden Fensterscheiben zurückgeworfen waren, ganz ebenso sich verhielten, wie jenes durch Kalkspat gegangene Licht, wurde die Erscheinung genauer untersucht und von Malus das Gesetz dieser Erscheinung, der Polarisation, entdeckt. Nörenberg hat, um dieselbe auf einfache Weise nachzuweisen, einen Apparat konstruiert, der sich auf das in Fig. 205 versinnlichte Prinzip stützt.

Das Licht nämlich wird polarisiert, wenn es unter gewissen Winkeln auf die Oberfläche durchsichtiger Körper fällt; für verschiedene Körper ist der Winkel — der Polarisationswinkel — verschieden. Ist ABCD z. B. eine durchsichtige Glasplatte, auf welche das

Lichtstrahlenbündel SO unter $35^1/_2$ Grad auffällt, so geht ein Teil des Lichtes durch das Glas hindurch, der andre wird unter demselben Winkel gespiegelt und geht in der Richtung OO' weiter. Diese reflektierten Strahlen zeigen jenen Parellelismus der Schwingungsebenen, welchen wir als die charakteristische Eigenschaft polarisierten Lichtes ansehen müssen. Die Schwingungsebene und die Art der Bewegung in ihr ist in der Figur durch die punktierte Wellenlinie und die zwischengezeichneten kleinen Pfeile angedeutet. Die Ebene SOO' heißt die Polarisationsebene, sie steht auf der Schwingungsebene senkrecht. Lassen wir nun das polarisierte Licht auf einen zweiten Spiegel EFGH, der gegen den Strahl um denselben Winkel von $35^1/_2$ Grad geneigt ist, auffallen, so können wir seine besondere Beschaffenheit beobachten. Wenn dieser zweite Spiegel beweglich ist, so daß er, während seine Neigung gegen den Strahl immer gleich bleibt, sich um denselben im Kreise drehen und in die vier Hauptstellungen EFGH — E'F'G'H' — E"F"G"H" — und E'''F'''G'''H''' bringen läßt, so würde, wäre der von O nach O' kommende Strahl gewöhnliches Licht, bei dieser Drehung keinerlei Veränderung des Spiegelbildes zu bemerken sein. Das durch den unteren Spiegel polarisierte Licht dagegen verhält sich anders, denn es wird nur in den beiden zur Schwingungsebene parallelen Lagen EFGH und E"F"G"H" vollständig zurückgeworfen, in allen dazwischenliegenden Stellungen aber mehr oder weniger und in den beiden rechtwinkelig gegen die Schwingungsebene stehenden Ebenen E'F'G'H' und E'''F'''G'''H''' ganz und gar verschluckt. Dreht man also den oberen Spiegel wie den Zeiger einer Uhr aus seiner Stellung EFGH um den ganzen Kreis, so nimmt darin das Spiegelbild an Helligkeit immer mehr ab, bis es nach einer Viertelumdrehung ganz dunkel ist; von da ab wird es wieder heller und erreicht ein Maximum der Beleuchtung bei einer Drehung um den halben Kreis; demnach gibt es zwei Punkte größter Helligkeit und zwei Punkte größter Dunkelheit. Arago, der sich mit Fresnel am eifrigsten mit der Untersuchung der Polarisation beschäftigt hat, entdeckte (1811) zu der Polarisation durch Brechung und durch Spiegelung noch, daß die polarisierten Lichtstrahlen beim Durchgange durch gewisse Körper unter Umständen andre Eigenschaften annehmen. So läßt z. B. das großenteils polarisierte Licht, welches der blaue Himmel zurückstrahlt, ein dagegen gehaltenes Glimmerblättchen für gewöhnlich ganz farblos erscheinen, während es prachtvoll gefärbt sich zeigt, wenn man zwischen dasselbe und das Auge noch ein doppeltbrechendes Prisma von Kalkspat (sog. Nicolsches Prisma) bringt. Wie das Glimmerblättchen, so bringen alle doppeltbrechenden Körper, wenn man sie in polarisiertem Lichte durch ein solches Kalkspatprisma betrachtet, die Erscheinungen der sog. farbigen oder chromatischen Polarisation hervor, und diese Eigenschaft ist ein sicheres Mittel, um doppeltbrechende Körper von einfachbrechenden zu unterscheiden.


Fig. 206. Drehung der Schwingungsebene im Saccharometer.

Die Wirkung der Spiegelebene bei der Polarisation des Lichtes ist nach dem Gesetz vom Parallelogramm der Kräfte zu beurteilen; jede der verschiedenen Schwingungen wird in zwei rechtwinkelig aufeinander stehende zerlegt; die eine davon, welche rechtwinkelig auf die Spiegelebene gerichtet ist, wird verschluckt; die andre, der Spiegelebene parallel, reflektiert. Das innere Gefüge gewisser Kristalle — wir haben schon des Kalkspates in dieser Beziehung Erwähnung gethan — zwingt auch die Lichtstrahlen, in zwei rechtwinkelig aufeinander stehenden Ebenen zu schwingen; das einfallende Licht wird in zwei Strahlenbündel gespalten, welche beide beim Heraustreten polarisiert sind. Nicol hat den Kalkspatkristall in eigentümlicher Weise zerschnitten und ein Prisma daraus geschliffen, welches nur den einen der beiden Strahlen gesondert durchgehen läßt. Ein solches Nicolsches Prisma ist, wenn es sich darum handelt, polarisiertes Licht zu haben, ein sehr bequemer Apparat. Die durchsichtigen Körper verhalten sich nämlich, wie wir schon gesehen haben, gegen das durch sie hindurchgehende Licht sehr verschieden, und dieses Verhalten kann zur Unterscheidung einander sonst sehr ähnlicher Körper dienen. Bergkristall und weißes Glas z. B. können

in der Masse zum Verwechseln ähnlich aussehen, wenn man sie aber in dem Polarisationsapparate betrachtet, der immer aus den beiden Teilen besteht, welche in Fig. 205 durch die beiden Spiegelplatten repräsentiert sind und von denen die untere, welche das Licht polarisiert, der Polarisator heißt, die obere der Analysator, weil sie das ihr zufallende Licht auf seine polarisierte Natur prüft, wenn man diese sonst ähnlichen Substanzen also in einem solchen Apparate betrachtet, so treten bei dem Bergkristall, wenn derselbe mehr oder weniger schief gegen seine Achse geschliffen ist, wie bei dem Glimmerblättchen, prachtvolle Farbenerscheinungen auf, während das Glas immer nur weißes Licht hindurch läßt. Nur wenn das Glas rasch abgekühlt oder durch starken Druck in seinen Elastizitätsverhältnissen gewaltsam alteriert ist, zeigt es analoge Erscheinungen, und die Polarisationsapparate können also nicht bloß dazu dienen, die Art der zu untersuchenden durchsichtigen Körper, ihr Kristallsystem, die Art ihrer Kristallbildung (einfache oder Zwillingskristalle) u. s. w. zu bestimmen, sondern bis zu gewissem Grade auch die Umstände, unter denen sich ihre Bildung vollzog. Und da die Erscheinungen auch bei den winzigsten Partikelchen dieselben bleiben, so vermag namentlich die mikroskopische Untersuchung von dem Verhalten der Objekte im polarisierten Lichte Vorteile zu ziehen. Einen glänzenden Beweis dafür liefert die mikroskopische Untersuchung der Gesteine, welche in der kurzen Zeit ihrer Ausübung die wunderbarsten, auf keinem andern Wege bis dahin erreichbaren Resultate ergeben hat.

Ferner üben Lösungen mancher Stoffe auf die Schwingungen des durch sie hindurchgehenden polarisierten Lichtstrahles einen merkwürdigen Einfluß aus. So verlegt z. B. eine Zuckerlösung die Schwingungsebene, so daß diese, je nachdem die Lösung mehr oder weniger konzentriert oder die durchlaufene Schicht mehr oder weniger dick ist, auch entsprechend nach rechts, wie der Zeiger der Uhr läuft, gedreht wird. Bei einer Röhre von bestimmter Länge, vorn und hinten mit durchsichtigen Glasplatten abgeschlossen, richtet sich die Größe des Ablenkungswinkels nach dem Zuckergehalte der Lösung. Die Apparate, deren man sich in den Zuckerfabriken bedient, um damit die Zuckerlösung zu prüfen, bestehen aus einer metallenen Röhre, oben mit einer Öffnung zum Einfüllen der Flüssigkeit versehen und an ihren beiden Enden mit durchsichtigen Glasplatten abgeschlossen. An dem hinteren Ende liegt nach außen zu vor der Glasplatte ein Nicolsches Prisma, welches das eintretende Licht polarisiert. Am vorderen Ende befindet sich ein eben solches Prisma, das aber in einer drehbaren Metallhülse sitzt, die ringsum dem Zeigerlauf der Uhr entgegen eingeteilt ist. Geht nun das durch das eine Prisma polarisierte Licht auch durch das zweite, so können durch Drehung des letzteren die bekannten Lichtabstufungen hervorgebracht werden. Bei Zuckerlösung erscheinen sie aber im Kreise um so viel weiter nach rechts verdreht, als die Schwingungsebene abgelenkt worden ist, und die Größe der Drehung, welche ausgeführt werden muß, bis eine bestimmte Abstufung erscheint, läßt den Prozentgehalt erkennen. Man ist übereingekommen, als Nullpunkt der Teilung nicht die Helligkeits- oder Dunkelheitsmaxima anzunehmen. Wie wir später sehen werden, ist das weiße Licht aus vielen verschiedenfarbigen Strahlen zusammengesetzt. Bei dem Durchgange durch Zuckerlösung verlegen sich aber die Schwingungsebenen der verschiedenen Farben auch in verschiedener Weise in der Ordnung des Regenbogens, so daß Rot am wenigsten, dann Gelb, Grün, Blau und endlich Violett am meisten abgelenkt wird. Wenn man also das vordere Prisma dreht, so wird das Gesichtsfeld nicht einfach dunkler, sondern es durchläuft zugleich den eben angegebenen Farbenkreis. In diesen gemischten Farbentönen zeigt sich nun vorwiegend ein tiefes Purpurviolett so leicht erkennbar, daß, wer einmal darauf aufmerksam gemacht worden ist, den Punkt mit größter Genauigkeit wiederfindet. Auf diesen Punkt ist daher die Teilung der Saccharometer bezogen worden, und auf ihn stellt man bei Prüfungen das Instrument ein.



Geistererscheinung auf der Bühne.

Zwei Spiegel sind, worin sich selber schaut mit Wonne
Die hohe Himmels- und die höchste Geistessonne.
Ein Spiegel ist das Meer, von keinem Sturm empört.
Ein andrer das Gemüt, von keinem Drang verstört.

Rückert.

Spiegel und Spiegelapparate.

Alles spiegelt sich. Der Spiegel ein Kulturmittel. Antike Spiegel. Gesetze der Reflexion. Das Spiegelbild. Es ist symmetrisch. Gespenstererscheinung auf der Bühne. Winkelspiegel. Das patentierte Debuskop. Kaleidoskop. Der Spiegelsextant. Reflexionsgoniometer. Heliostat und Heliotrop. Spiegelung gekrümmter Flächen. Konkav- und Konvexspiegel. Brennpunkt und Brennweite. Reelle und virtuelle Bilder.

Kein Dichter hat die Reize des wiederkehrenden Lichtes je ausgesungen, kein Auge sie alle gekostet. Alles Sichtbare ist in vollem Sinne des Wortes ein Spiegel, aus welchem die Urquelle des Lichtes uns widerstrahlt. Die rote Apfelblüte im Frühling, der in der Abendsonne erglühende Gipfel des Eisberges, der sanfte Strahl aus dem Auge der Geliebten — wie sie alle durch ihre eigne Gewalt fesseln, haben sie doch nur ihr Licht geborgt; sie wären für deine Augen unsichtbar, wenn ihnen nicht die Fähigkeit, die auf sie fallenden Strahlen zurückzuwerfen, innewohnte. Wenn die Lichtwellen von jedem Körper, auf den sie auftreffen, verschluckt würden und nicht wiederkämen, wie traurig, wie öde wäre die Welt! Überall die tiefste Finsternis für unser Auge — und nur wenn wir es direkt der Sonne oder den Fixsternen zurichteten, oder wenn wir zufällig damit einem Blitz, dem Scheine des Nordlichts oder der brennenden Flamme begegneten, würden wir einen um so stärker kontrastierenden Lichteindruck empfangen.

Ein faulendes Stück Holz, weil es vermag, mit eignem Lichte zu leuchten, wäre für uns mehr als das schönste Menschenantlitz, denn jenes könnten wir sehen, dieses nicht.

Je weniger Unebenheiten eine Fläche zeigt, um so vollkommener wird auch von ihr

das Licht zurückgeworfen. Die „von keinem Sturm empörte“ Oberfläche des Wassers heißt deshalb auch bezeichnend sein Spiegel. Aus ihm strahlte dem Menschen zuerst sein eignes Bild entgegen, und mit dem Menschen freut sich die vom Dichter belebte Natur ihres Widerscheines.

In dem glatten See
Weiden ihr Antlitz
Tausend Gestirne —

singen rühmend die Geister über dem Wasser, und von unten herauf „das feuchte Weib“:

Labt sich die liebe Sonne nicht,
Der Mond sich nicht im Meer?
Kehrt wellenatmend ihr Gesicht
Nicht doppelt schöner her?
Lockt dich der tiefe Himmel nicht,
Das feuchtverklärte Blau?
Lockt dich dein eigen Angesicht
Nicht her in ew'gen Tau?

Und wenn mit diesem Gesange ein Mensch sich berücken ließ, dürfen wir es jungen Mädchen verdenken, daß sie bei keinem Spiegel vorbeigehen können, ohne mit einem rasch hineingeworfenen Blick sich ihrer anmutigen Erscheinung zu freuen?

Der Spiegel ist ein universelles Gerät. Obwohl zu seiner Erfindung ein ziemlicher Grad von Naturbeobachtung, Nachdenken und mancherlei Kunstfertigkeit gehört, so finden wir ihn in verschiedenen Gestalten doch über die ganze Erde und selbst unter den am wenigsten kultivierten Völkern verbreitet. Bunte Glasperlen und kleine Handspiegel sind zwei der wirksamsten Kulturmittel rohen Naturvölkern gegenüber. Was Gold und alle Kunst nicht vermag, das vermögen diese der Eitelkeit angehängten Stachel — Annäherung, Zutrauen, Tausch, schließlich Gewöhnung an Arbeit, um sich die Mittel zur Befriedigung der wachsenden Bedürfnisse zu verschaffen.

Und anderwärts finden wir in den Gräbern der alten Griechen Spiegel, welche dies höchst gebildete Kulturvolk den gestorbenen Frauen als ein Symbol der Schönheit mitgab.

Die Spiegel der Alten waren meist aus Metall, doch gab es auch schon frühzeitig solche aus Glas, die aus dem durch seine Glashütten berühmten Sidon bezogen wurden, während die Metallspiegel aus Brindisi kamen. Gewöhnlich bestanden diese letzteren aus einer Mischung von Kupfer und Zinn; Plinius erwähnt auch silberner Spiegel, und es wird bemerkt, daß Praxiteles dergleichen unter der Regierung des Pomponius verfertigt habe. Waren die Platten von großen Dimensionen, so konnte mit diesem Gerät ein beträchtlicher Luxus getrieben werden, und in der üppigsten Zeit des Römertums hatten einzelne wohl Spiegel von Gold. Nero soll einen Spiegel von Smaragd besessen haben, es ist aber zu vermuten, daß der Edelstein kein Spiegel, sondern vielmehr ein durchsichtiges Glas und vielleicht auf ähnliche Weise wie unsre Brillengläser geschliffen war, denn Nero bediente sich desselben, um in der Arena den Gladiatorenkämpfen zuzusehen. Bergkristall und andre durchsichtige Steine, auch Obsidian wurden zu Spiegeln verwendet.

Die antiken Spiegel sind meist klein, rund und oval, mit einer Handhabe, wie man deren heute noch hat; indessen besaßen nach Quintilius die Frauen auch große Specula totis paria corporibus, in denen sie ihre ganze Figur beschauen konnten, und Reiche hielten sich besondere Sklaven, die den Spiegel während des Gebrauchs halten mußten. Man kannte in sehr früher Zeit auch bereits die gekrümmten Spiegel, sowohl die erhabenen als die Hohlspiegel, und machte Anwendung davon.

Indessen erscheint es zweckmäßig, zunächst die Gesetze der Lichtbewegung, welche bei den Spiegelungserscheinungen eintreten, in der Kürze zu betrachten.

Reflexion des Lichtes. Jeder Körper reflektiert Licht, der eine mehr, der andre weniger; am wenigsten die Gasarten, die uns deshalb auch unter gewöhnlichen Umständen häufig unsichtbar bleiben. Nehmen wir eine glatt polierte ebene Fläche von Metall (Fig. 208), einen Planspiegel, und lassen wir auf diese einen Lichtstrahl v auffallen, so wird derselbe zurückgeworfen, und zwar so, daß der Winkel, unter welchem er von dem Spiegel fortgeht,

genau so groß ist wie derjenige, unter welchem er auftraf (der Einfallswinkel vcb ist dem Ausgangswinkel bcv' gleich), ferner so, daß die einfallenden Strahlen vc mit den reflektierten v'c in einer Ebene liegen, welche auf der spiegelnden Ebene senkrecht steht. Wenn man die Fenster eines Zimmers verschließt und nur eine kleine Öffnung läßt, durch welche die Sonne hereinscheint, so kann man dadurch, daß man die Sonnenstrahlen mit einer Spiegelscheibe auffängt, sich von der Richtigkeit der ausgesprochenen Gesetze augenscheinlich überzeugen.

Bringen wir unser Auge in die Richtung des reflektierten Strahles, so empfangen wir den Lichteindruck und wir sehen in der Richtung der in unser Auge fallenden Strahlen das Bild des lichtstrahlenden Körpers. Der Ort, an welchem das Spiegelbild auftritt, wechselt nicht, wenn wir auch mit den Augen hin und her gehen. Er ist ein ganz bestimmter und leicht durch den Versuch zu finden. Man suche nur die Richtungen der reflektierten Strahlen für verschiedene Stellungen des Auges; alle werden von einem Punkte herzukommen scheinen, der hinter der Spiegelfläche in der Verlängerung der Senkrechten liegt, die man von dem leuchtenden Körper darauf ziehen kann; und zwar befindet sich jener Punkt genau so weit hinter der spiegelnden Fläche, als der leuchtende Körper davor steht. Die Betrachtung der Fig. 209, welche dies Verhältnis der Entfernungen des wirklichen Körpers und seines Spiegelbildes von der spiegelnden Fläche wiedergibt, wird zugleich über den Umstand belehren, daß die Planspiegel das Bild verkehrt zeigen müssen, ein Umstand, von welchem Holzschneider, Kupferstecher, Lithographen u. s. w. fortwährend bei ihren Arbeiten Gebrauch machen.

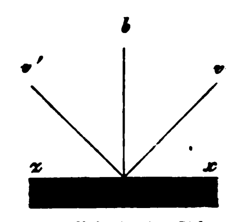


Fig. 208. Reflexion des Lichtes.

Unsre Spiegel werden gewöhnlich aus Glas hergestellt und auf der Rückseite mit einer glatten Metallschicht, Amalgam, versehen, um sie undurchsichtig zu machen. Die Kunst, das Glas zu größeren Tafeln zu gießen, erfand Abraham Thevart im Jahre 1688 in Frankreich; Raimundus Lullus aber hat schon zu Ende des 14. Jahrhunderts das Verfahren, wie man das Glas durch hintergelegtes Blei zum Spiegel machte, beschrieben.



Fig. 209. Spiegelbild bei Planspiegeln.

Geistererscheinung auf der Bühne. Obwohl undurchsichtige Körper am besten das Licht reflektieren, so gibt es doch Zwecke, für welche die Durchsichtigkeit der spiegelnden Flächen erwünscht ist. Ein solcher Fall trat uns schon bei dem Spiegel im Fizeauschen Apparat zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Lichtes entgegen, ein andrer ist neuerdings auf vielen Bühnen mit in den Bereich schauspielerischer Thätigkeit gezogen worden. Die Methoden, Geister erscheinen zu lassen, sind durch Anwendung dieser ziemlich einfachen Spiegelvorrichtung um die frappanteste vermehrt worden.

Es ist nicht unwahrscheinlich, daß schon die alten Zauberer ähnliche Spiegelvorrichtungen bei ihren Geisterbeschwörungen mitspielen ließen, wie sie bei dem in Rede stehenden Apparate in Anwendung kommen. In größerem Maßstabe und vor der Öffentlichkeit wurde die Idee aber erst vor wenig Jahren durch den englischen Physiker Pepper in Ausführung gebracht, welcher lange Zeit allabendlich durch den sogenannten Pepper Ghost in dem Londoner Polytechnikum eine sehr große Zuschauermenge zum Schauern brachte und seiner patentierten Erfindung auch Eingang auf dem Theater verschaffte.

Versetzen wir uns in den Zuschauerraum eines großen Theaters. Es wird ein Stück gegeben, dessen Kern besonders auf der Erscheinung eines Geistes beruht. Die Katastrophe ist nahe. Die Lichter brennen matter und matter, das Haus ist ziemlich dunkel, die Bühne selbst sehr wenig beleuchtet; wir ahnen, daß der Zeitpunkt gekommen ist, wo etwas Großes passieren soll. Da erhebt sich an einer Stelle der Bühne ein heller Schein, er wird deutlicher und deutlicher und es entwickeln sich allmählich in ihm sichtbare Konturen, die Bedeutung und Zusammenhang gewinnen — eine unbeschreibliche Gestalt steht plötzlich vor dem ergriffenen Helden der Tragödie. Er erkennt in ihr das Wesen eines längst schon Toten, und doch ist sie kein Körper, sie ist Luft; sie spricht, ihre Stimme klingt hohl, sie bewegt sich und ihre Bewegungen werden durch keinerlei Gegenstände gehindert; sie geht durch Büsche und Bäume hindurch, ohne daß ein Blatt sich rührt; den umschlingenden Arm läßt sie ins Leere greifen, dem durchbohrenden Degen setzt sie keinen Widerstand entgegen. Endlich verschwindet sie ebenso plötzlich und geheimnisvoll vor unsern Augen, wie sie kam, und wir bedenken uns keinen Augenblick, dem Unglücklichen, welchem ihr Besuch gegolten, unser tiefstes Mitgefühl zu schenken; denn fröstelnd fühlen wir, wie schrecklich es sein muß, in solcher Weise und durch solche Boten vielleicht an gewisse bis jetzt außer acht gelassene Verbindlichkeiten erinnert zu werden.

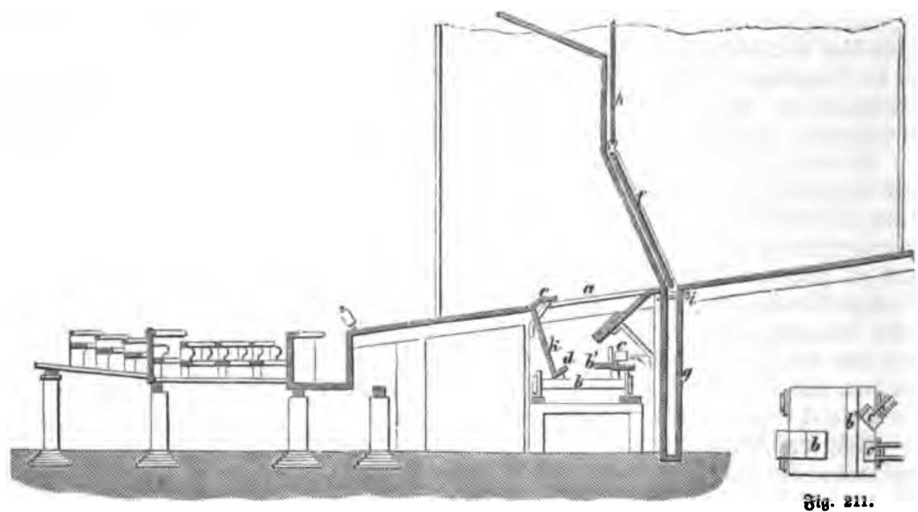


Fig. 210. Apparat zur Erzeugung von Geistererscheinungen auf der Bühne. Fig. 211.

Wüßten wir während der Vorstellung schon, daß, sobald der Vorhang gefallen ist, der von uns Bemitleidete Arm in Arm mit dem Geiste seines Vaters oder eines erstochenen Nebenbuhlers in ein Weinhaus geht — wir würden uns einen großen Teil Rührung ersparen. Schließlich erzählt er uns, daß er von der ganzen Erscheinung selbst gar nichts gesehen habe. Das kommt uns nun freilich am allermerkwürdigsten vor. Wir forschen und fragen, und richtig, wir allein sind die Getäuschten. Aber wie?

Das Theater hat außer der gewöhnlichen Bühne noch eine zweite, verborgene, die etwas tiefer liegt. Auf ihr spielt der Schauspieler, welcher dem auf der gewöhnlichen Bühne befindlichen Akteur als Geist erscheinen soll, und sie ist deshalb dem Zuschauer durch Arrangements der Versatzstücke, Gebüsch oder eine Bodenerhöhung verdeckt. Das Wesentliche der ganzen Einrichtung besteht aber in einer großen, gut polierten Glaswand, welche gegen den Zuschauerraum etwas geneigt und so aufgestellt ist, daß die verborgene Bühne zwischen ihr und den Zuschauern liegt. Um ein genaueres Verständnis des ganzen Apparates zu geben, verweisen wir auf die Abbildung Fig. 210, welche die Einrichtung, wie sie von Dirks und Pepper an vielen Bühnen ausgeführt worden ist, im Durchschnitt gibt. Die Öffnung a, welche zu der verborgenen Bühne b führt, kann durch Fallthüren geschlossen

werden, damit sich die Schauspieler, wenn der Geist nicht mitzuwirken hat, ungehindert auf der oberen Bühne bewegen können; f ist die Glaswand, deren Ränder oder Zusammenfügungsstellen auf irgend eine Weise durch Rahmen, Guirlanden oder dergleichen maskiert sind. Sie wirkt wie ein Spiegel, zwar nicht mit der ganzen Schärfe und Deutlichkeit, welche eine hinten mit Zinnfolie belegte Spiegelplatte ihren Bildern geben würde, allein dies ist bei einer Geistererscheinung auch gar nicht Zweck. Dadurch, daß sie vollständig durchsichtig ist und die hinter ihr befindlichen Schauspieler und Gegenstände scharf und bestimmt erkennen läßt, wird sie dem Zuschauer nicht bemerklich und derselbe vermutet sie nicht als Ursache des Bildes. Wir können uns in einer hellen Fensterscheibe ja auch spiegeln und doch alles, was dahinter vorgeht, erkennen, wenn nur das Glas einen dunklen Hintergrund hat.

Um den gewünschten Zweck nun zu erreichen, muß die obere Bühne während der Katastrophe verfinstert werden. Der Geist selbst wird von der unteren Bühne b aus dargestellt. Hier befindet sich eine Wand k, an welche der entsprechend gekleidete Schauspieler sich anlehnen kann. Das Bild desselben wird, da der ganze untere Raum mit schwarzem Samt ausgeschlagen ist, bei der hellen Beleuchtung sehr deutlich hervortretend, den Zuschauern durch die Glaswand widergespiegelt, und dies Spiegelbild ist eben der Geist. Er scheint, aus dem Zuschauerraume gesehen, hinter der unsichtbaren Glasscheibe sich zu befinden; der mit ihm verkehrende Schauspieler, der ebenfalls hinter f sich bewegt, muß genau den Punkt des Spiegelbildes kennen, weil er natürlich von der Erscheinung nichts sehen kann, aber sein Spiel doch nach den Bewegungen derselben einzurichten hat. Die Wand k ist der Spiegelscheibe genau parallel gerichtet, damit die Figur im Bilde aufrecht erscheint. Die Glasplatte f selbst befindet sich in einem beweglichen Rahmen, den man durch Schrauben oder Seile h und i unter dem richtigen Winkel einstellen kann. Die Einstellung geschieht entweder während des Zwischenaktes oder bei offener Szene zu einer Zeit, wo die Aufmerksamkeit des Publikums anderweit gefesselt ist. Selbstverständlich muß man in diesem Falle den richtigen Neigungswinkel vorher bestens ermittelt haben. Da nun der Geistspieler wegen der Neigung der Spiegelplatte auch in seinem Versteck eine schiefe Lage einnehmen muß, welche jede Bewegung erschweren würde, so ist die Wand k wie ein Wagen auf Rollen und Schienen verschiebbar gemacht. Die Lichtquelle c (s. Fig. 211) bewegt sich zugleich mit dem Wagen, wenn sie nicht so eingerichtet ist, daß sie den ganzen unteren Raum, innerhalb dessen die Gestalt gestikuliert, erleuchtet. Hat man eine konstante Lichtquelle, wie elektrisches Licht, so kann man die Beleuchtung durch einen Schirm unterbrechen, welcher in gewisser Stellung die Bestrahlung von der verborgenen Bühne abschneidet. Bei Hydro-Oxygengaslicht ist die Abschwächung und Verstärkung der Helligkeit am bequemsten durch Stellung der Gashähne zu bewirken.



Fig. 212. Das Kaleidoskop.

Das Kaleidoskop. Die von einem Spiegel zurückgeworfenen Lichtstrahlen können von einem zweiten Spiegel wieder reflektiert werden und sie folgen dann demselben Gesetz der gleichen Winkel wie das erste Mal. Wir wissen, daß, wenn wir in der Mitte zwischen zwei Spiegeln stehen, jeder derselben Vorder- und Rückseite unsrer Person nebeneinander zeigt, und zwar nicht nur einmal, sondern, je nach der Stellung der beiden Spiegelflächen zu einander, mehr oder weniger oft wiederholt. Solche gegeneinander geneigte Spiegel heißen Winkelspiegel. Sie sind Veranlassung zu einigen hübschen und nützlichen Apparaten geworden, weil die Wiederholung der Bilder unter gewissen Verhältnissen sehr regelmäßige

symmetrische Figuren erzeugt, die in ihrer Unerschöpflichkeit dem Musterzeichner manchen nützlichen Anhalt geben können.

Schon mit einer Vorrichtung, die man auf die allereinfachste Weise dadurch herstellen kann, daß man zwei kleine viereckige Spiegel unter einem gewissen Winkel zusammenstoßen läßt, kann man schöne Effekte erlangen, wenn man den Winkel genau so groß macht, daß er in dem Umfang des Kreises ohne Rest aufgeht. Je nachdem er 1/4, 1/5, 1/6 u. s. w. des Kreises ausmacht, ordnen sich die Bilder der zwischen den Spiegeln befindlichen Gegenstände, Zeichnungen oder dergleichen zu vier-, fünf-, sechs- und mehrstrahligen Sternen. Das regelloseste Gewirr bunter Fäden, Perlen, Tintenkleckse, Blumenblätter, Glasstücke, kurz was es auch immer sei, erhält dadurch eine schöne Regelmäßigkeit, welche die bewundernswürdigsten Figuren hervorbringt. Vor einigen Jahren wurde ein Apparat unter dem vielklingenden, aber nichtssagenden Namen Debuskop in den Zeitungen ausposaunt und er wird jetzt noch zu ziemlichem Preise verkauft.

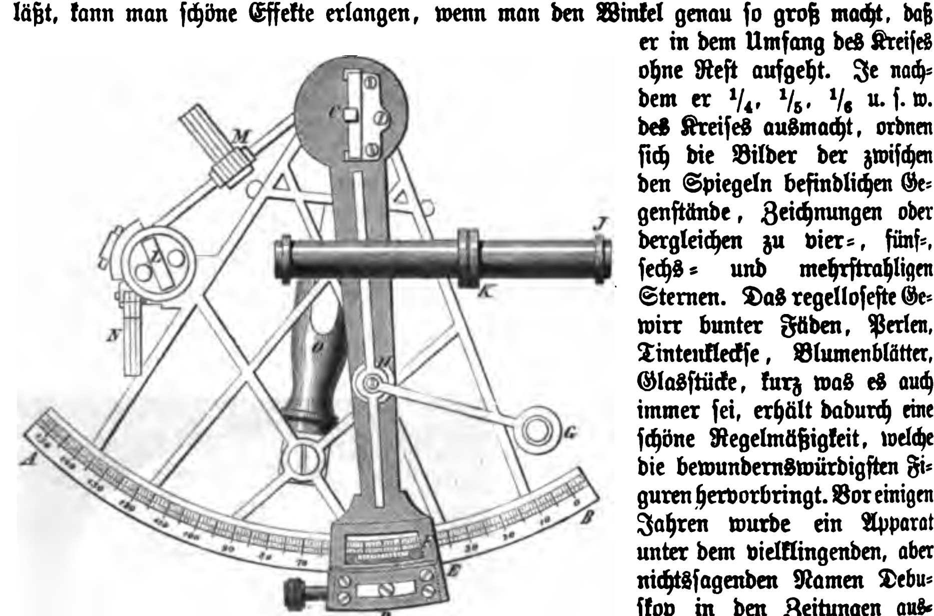


Fig. 213. Der Spiegelsextant.

Derselbe ist gar nichts weiter als ein ganz einfacher Winkelspiegel, den sich jeder, der einen solchen zu seinem Nutzen oder Vergnügen haben möchte, selbst aus zwei kleinen Spiegelscheiben, oder noch besser aus zwei blank polierten, versilberten Kupferplatten anfertigen kann. Und zwar bietet diese eigne Anfertigung noch den Vorteil, daß man dann die Spiegelplatten verstellbar einrichten und so nach Belieben fünf-, sechs- oder mehreckige Bilder erzeugen kann, während bei dem „patentierten“ Debuskop die Spiegel sich gegeneinander in fester, unverrückbarer Stellung befanden.

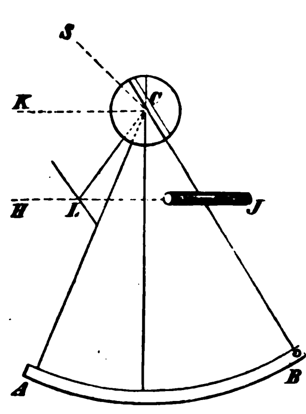


Fig. 214. Prinzip des Sextanten.

Das Kaleidoskop (deutsch: das, was schöne Bilder zeigt) ist eine 1817 von Brewster in den Handel gebrachte Erfindung, bei welcher bald zwei, bald drei Spiegel unter Winkeln von 60 Grad zusammenstoßen. In dem dadurch gebildeten Dreieck liegen ebenfalls lauter kleine farbige Gegenstände, deren Spiegelbilder sich zu regelmäßigen sechseckigen Figuren zusammensetzen und die man durch Schütteln fortwährend sich verändern lassen kann.

Ähnliche Vorrichtungen wie das Kaleidoskop waren schon vor mehreren Jahrhunderten bekannt. Porta und der Pater Kircher (um 1646) erwähnen ihrer, ohne daß sie jedoch so großes Aufsehen gemacht hätten wie die Brewstersche Erfindung, welche von Paris aus, wo sie ein Modespielzeug wurde, sich rasch über die ganze Welt verbreitete und ihrem Erfinder großen Gewinn brachte. Eine Zeitlang wurden in Paris täglich gegen 60000 Stück von verschiedenen Größen gefertigt.

Die wichtigste Anwendung aber von der Spiegelung ebener Flächen ist zur Herstellung einiger Instrumente gemacht worden, unter denen namentlich der Sextant, das Reflexionsgoniometer, der Heliostat und der Heliotrop zu nennen sind.

Der **Sextant** dient, um den Winkel zu bestimmen, den zwei entfernt sichtbare Punkte mit dem Punkte machen, worauf sich der Beobachter befindet. Er verdankt seinen Namen einer sehr gebräuchlichen Einrichtung, nach welcher bei diesem Instrument ein Sechstelkreis zur Messung dieser Winkelgrößen angewandt wurde. Die erste Idee dazu stammt von dem bekannten englischen Physiker Hooke; Newton hat dieselbe vervollkommt und Hadley 1731 danach das erste Instrument der Art ausgeführt. In der That war dasselbe aber ein Oktant, denn es betrug sein Bogen nur den achten Teil eines Kreisumfanges.

In Fig. 213 soll AB einen eingeteilten Kreisbogen bezeichnen, um dessen Mittelpunkt C sich der Arm CD drehen läßt. Derselbe trägt an seinem oberen Ende einen auf der Ebene des Kreisbogens senkrechten Planspiegel C, welcher mittels kleiner Schrauben befestigt ist. An dem andern Ende des Armes befindet sich ein sogenannter Nonius, das ist eine besonders eingerichtete und später zu beschreibende Marke, deren Teilstriche eine genaue Ablesung der ausgeführten Drehung des Armes gestatten. G ist eine kleine Lupe, die, an einem um H drehbaren Stäbchen befestigt, die feine Teilung besser erkennen läßt; J ein Fernrohr mit fester, unveränderlicher Richtung, deshalb auch in eine feste Fassung K eingeschlossen. Es ist genau der obersten Kante eines zweiten schrägen Planspiegels L zugerichtet, so daß man durch dasselbe nicht nur das Bild aus dem Spiegel empfängt, sondern auch noch ferne Gegenstände sehen kann, welche in der Richtung des kleinen Spiegels über diesen hinweg liegen. Wenn der feststehende Spiegel L mit dem drehbaren bei C genau parallel gestellt ist, so steht die Marke des Nonius auf dem Nullpunkt. Außerdem sehen wir nun in der Abbildung bei M und N noch zwei Partien Blendgläser, um, wenn Sonnenbeobachtungen gemacht werden sollen, den zu grellen Schein des Lichtes abzudämpfen, und bei O den Handgriff, an welchem das Instrument beim Gebrauche gehalten wird. In der Zeichnung Fig. 214 begegnen wir aber allen diesen Teilen in einfacher, schematischer Darstellung, welche gewählt worden ist, um die Wirkungsweise besser zu versinnlichen.

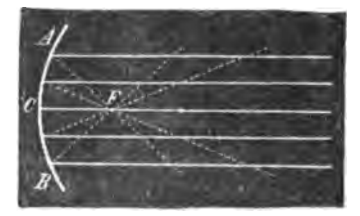


Fig. 215. Zurückwerfung parallel auffallender Strahlen durch den Hohlspiegel.

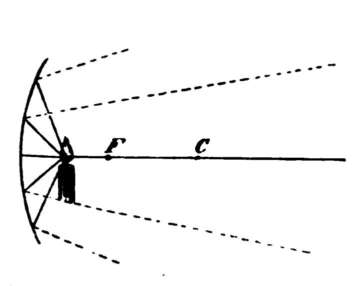


Fig. 216. Reflexion in divergierender Richtung.

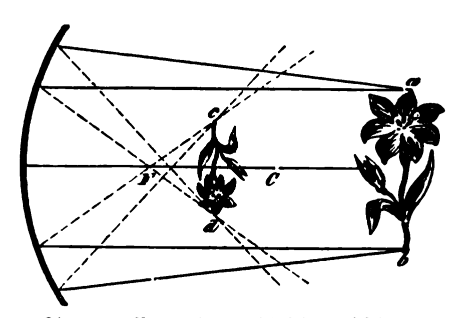
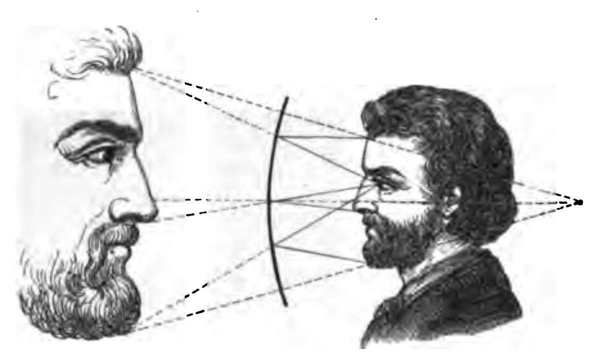


Fig. 217. Reelles Spiegelbild beim Hohlspiegel.

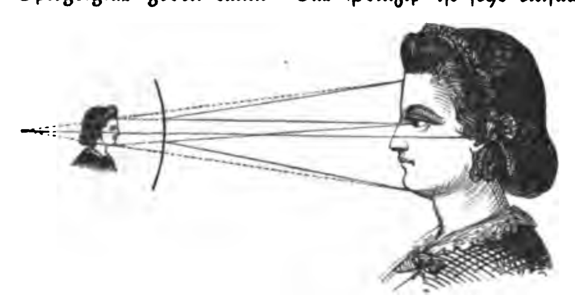
Sind die beiden Spiegel C und L parallel gerichtet, so werden die Strahlen, welche von C reflektiert nach L und von diesem wieder zurückgeworfen in das Fernrohr gelangen, aus L in derselben Richtung austreten, in welcher sie auf den Spiegel C auftrafen. Man sieht also mit Hilfe des Fernrohrs J denselben Gegenstand, das eine Mal über die obere Kante des Spiegels L hinweg direkt, das andre Mal in dem Spiegel selbst im Bilde. Und man hat demnach in der Übereinstimmung, in der Deckung der beiden Bilder ein sicheres Mittel, den Parallelismus der Spiegel auf das genaueste herzustellen. An dieser Stelle spielt dann, wie gesagt, die Marke des Armes CD auf dem Nullpunkte der Teilung ein. Ist der Winkel zu bestimmen, welchen zwei Punkte mit dem Standpunkte des Beschauers machen, so hat man sich so aufzustellen, daß man den einen dieser Punkte zur Rechten, den andern zur Linken sieht. Mit dem Fernrohr sucht man nun den letztern, der in der Richtung der

Linie CK (Fig. 214) liegt, über den Spiegel L hinweg, und bringt gleichzeitig das Bild des andern, in der Richtung CS liegenden Punktes in das Fernrohr, indem man den Spiegel C so weit dreht, bis er den gesuchten Gegenstand nach L reflektiert und dieser Spiegel das Bild in das Fernrohr J weiter sendet. Der Winkel, um welchen man hierbei den Arm CB hat drehen müssen, ist genau die Hälfte desjenigen, den die Richtungslinien nach den beiden Punkten bilden, und um ihn gleich zu finden, ist die Teilung so ausgeführt, daß ein Grad derselben einem halben Grade der gewöhnlichen Kreisteilung entspricht.

Der Sextant ist für die Seefahrer ein unentbehrliches Instrument, dessen Brauchbarkeit besonders darin beruht, daß es in der Hand gehalten ohne festen Standpunkt die Winkelgröße mit hinlänglicher Genauigkeit abzunehmen gestattet. Für die astronomische Ortsbestimmung, namentlich für die Breitenbestimmung, ist es notwendig, die Sonnenhöhe zu nehmen, d. h. den Winkel, den die Sonne beim Durchgang durch den Meridian mit dem Horizont macht, genau zu messen. Jede Methode, welche einen feststehenden Apparat zu dieser Messung, die an sich nicht besonders schwierig ist, verlangt, würde von vornherein bei dem häufigen Schwanken des Schiffes unstatthaft sein. Der Sextant ist dasjenige Instrument, welches an dieser Bewegung, unbeschadet der Genauigkeit seiner Angaben, mit teilnehmen kann und das deshalb auf keinem Schiffe fehlt, welches das offene Wasser befährt.


Fig. 218. Virtuelles Bild beim Konkavspiegel.

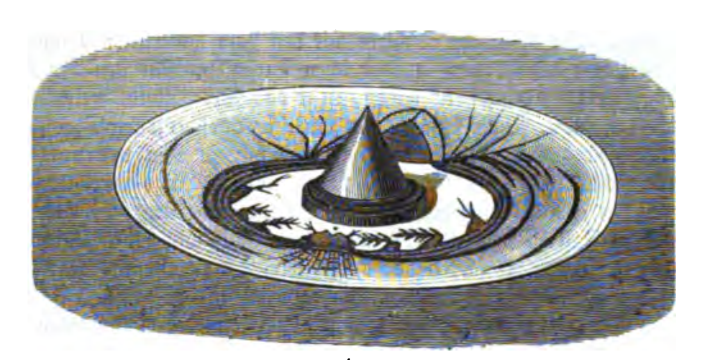
Das **Reflexions-Goniometer** ist ein von **Wollaston** erfundenes Instrument, um die Winkel, in welchen die Flächen der Kristalle zusammenstoßen, zu messen. Es wird zu diesem Zwecke die Spiegelung der Kristallflächen benutzt, welche dieselben entweder von Natur besitzen oder die man ihnen durch Benetzen oder Aufkleben dünner Plättchen von Spiegelglas geben kann. Das Prinzip ist sehr einfach. Man bringt den Kristall in der Achse eines vertikalen, auf seinem Umfange mit Teilung versehenen und mit der Achse drehbaren Kreises an, so daß die Kante der fraglichen Kristallflächen in die Verlängerung jener Achse fällt. An dieser Kante sucht man nun von einem entfernten Gegenstande das Spiegelbild zur Deckung mit einem näher liegenden Gegenstande zu bringen. Wenn man dies zweimal nacheinander ausführt, das erste Mal mit der einen, das zweite Mal mit der andern Fläche, so wird die Drehung des Kreises genau den Kantenwinkel des Kristalles anzeigen.


Fig. 219. Virtuelles Bild beim Konvexspiegel.

Der **Heliostat** dient dazu, das Sonnenlicht immer nach derselben Richtung zu werfen. Seine Einrichtung wird dadurch, daß die Sonne nicht stillsteht und der Spiegel also fortwährend ihrer Bewegung folgen muß, eine komplizierte. Indessen besteht das Wesentliche nicht in dem Spiegel, sondern vielmehr in dem Uhrwerke, womit die Drehung desselben ausgeführt wird, und deswegen dürfen wir uns einer Besprechung an dieser Stelle enthalten. Der **Heliotrop** ist eine Spiegelvorrichtung, um das Sonnenlicht bis auf entfernte Punkte zu reflektieren. Da nämlich eine quadratzollgroße Spiegelfläche, wenn sie hell von der Sonne beschienen wird, bis auf mehr als sieben Meilen Entfernung noch sichtbar ist, so können dergleichen Lichtsignale

mit großem Nutzen bei Ländervermessungen angewendet werden. Es ist nur notwendig, daß derjenige, welcher das Licht der andern Station zuwerfen will, auch sicher ist, daß es dort ankommt und nicht neben einem aufgestellten Beobachtungsfernrohr vorbeigeht. Der von Gauß erfundene Heliotrop läßt diesen Zweck auf höchst scharfsinnig erdachte Weise erreichen. Steinheil in München hat ein andres Instrument angegeben, das sich durch größere Einfachheit auszeichnet.

Wenn wir hier noch der verschiedenen Spiegelvorrichtungen erwähnen, welche in neuerer Zeit benutzt werden, um innere Körperteile zu beleuchten und zu beobachten, so geschieht es nur beiläufig; die mannigfachen Augenspiegel, Ohren-, Kehlkopfspiegel u. s. w. sind meist Hohlspiegel, welche Licht auf die betreffenden Teile werfen und die eine kleine Öffnung zum gleichzeitigen Hindurchsehen haben.



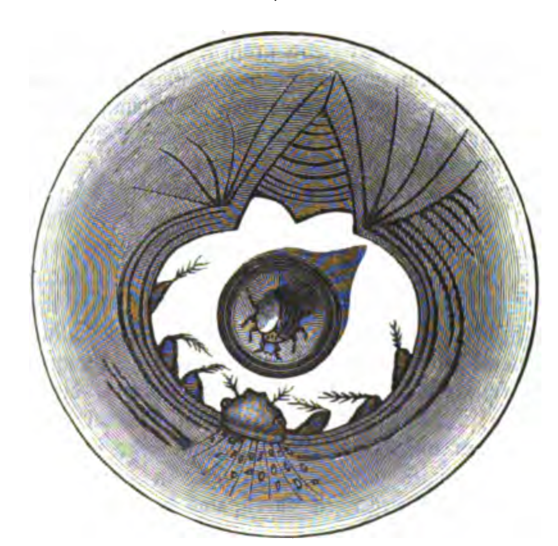


Fig. 220 und 221. Verzerrte Bilder im konischen Spiegel.

Spiegelung gekrümmter Flächen. Wenn ein Lichtstrahl auf eine gekrümmte Fläche auffällt, so folgt er demselben Gesetz der Zurückwerfung wie bei Ebenen. Der Einfallswinkel ist dem Ausfallswinkel gleich und wir dürfen uns nur den Punkt, wo der Strahl auftrifft, als eine kleine tangentiale Ebene denken, um die Wahrheit dieses Satzes bestätigt zu sehen. Die gekrümmten Flächen sind zweierlei Art, erhabene oder hohle oder, wie sie in der Sprache der alten Physiker genannt werden, konvexe und konkave. Ein Uhrglas zeigt uns auf seiner äußeren Oberfläche ein Beispiel der ersten, auf seiner inneren ein Beispiel der zweiten Art. Da nun aber die Natur der Krümmung eine sehr verschiedene sein kann, indem es cylindrische, kegelförmige, kugelförmige, ellipsoidische, parabolische u. s. w. Oberflächen gibt, so werden die betreffenden Spiegelbilder trotz ihres einfachen Grundgesetzes eine ebenso große Mannigfaltigkeit zeigen.

Bei Hohlspiegeln vereinigen sich unter gewissen Verhältnissen alle Strahlen in einem einzigen Punkte, dem Brennpunkte (Focus). Ist die spiegelnde Fläche wie AB in Fig. 215 ein Teil einer inneren Kugelfläche und die Lichtquelle so weit entfernt, daß die Strahlen unter sich als parallel gelten können, so liegt dieser Brennpunkt in der Mitte zwischen dem Mittelpunkt und der Spiegelfläche, in der Achse des Spiegels, das ist in der Richtung desjenigen Strahles, der in derselben Richtung, wie er ankommt, auch wieder zurückgeworfen wird (Hauptstrahl). Die Entfernung des Brennpunktes von der Spiegelfläche in dieser Richtung heißt die Brennweite des Spiegels. Rückt aber die

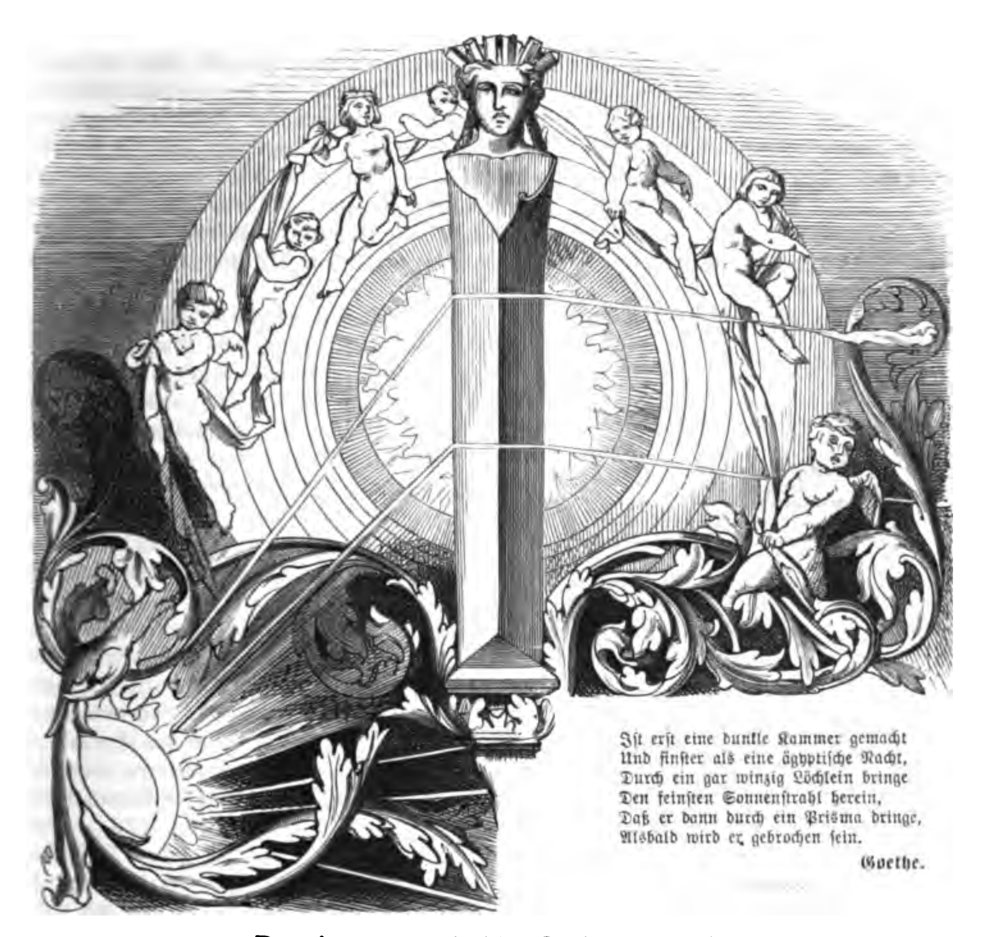
Lichtquelle näher, so daß ihre Strahlen untereinander nicht mehr parallel sind, so rückt der Brennpunkt weiter vom Spiegel ab, dem Mittelpunkte zu, und fällt endlich mit diesem zusammen, wenn die Lichtquelle in dem Mittelpunkte der Krümmung sich befindet. Kommt sie noch näher, so rückt der Brennpunkt immer mehr nach außen, und zwar unendlich weit, wenn die Lichtquelle im Brennpunkte F steht; die reflektierten Strahlen gehen dann parallel fort; sie divergieren endlich sogar, wenn der leuchtende Punkt zwischen Brennpunkt und Spiegelfläche liegt (Fig. 216).

Die Spiegelbilder sind von zweierlei Art und entstehen auf folgende Weise. Liegt der Gegenstand über den Mittelpunkt hinaus, wie ab in Fig. 217, so gehen z. B. von der Spitze nach allen Punkten der Spiegelfläche Strahlen, die, nachdem sie reflektiert worden sind, sich alle in einem Punkte d der durch den Mittelpunkt C gezogenen Nebenachse acd treffen. Das Nämliche geschieht mit den vom andern Ende sowie mit allen übrigen von der Oberfläche des Körpers ausgehenden Strahlen. An den Vereinigungspunkten, von denen wir nur zwei dargestellt haben, liegt das Spiegelbild, welches verkehrt und verkleinert erscheinen muß. Man kann es auf einer mattgeschliffenen Glasscheibe auffangen und es heißt deswegen das reelle Bild, im Gegensatz zu dem virtuellen Bilde, welches nicht in Wirklichkeit existiert, sondern nur in unserm Auge erzeugt wird, wenn der Gegenstand zwischen dem Brennpunkte und der Spiegelfläche liegt. Der Gang der Lichtstrahlen für den letztern Fall ist in Fig. 218 angegeben, und wir haben in unserm vergrößernden Rasierspiegel einen Apparat, der uns diese Art Bilder auf das deutlichste vor Augen führt. Das virtuelle Bild erscheint hinter dem Spiegel und vergrößert.

Die konvexen Spiegel können gar keine reellen Bilder geben, denn die von ihnen reflektierten Strahlen divergieren nach allen Seiten. Die virtuellen Bilder aber erscheinen aufrecht und je nach der Krümmung und der Nähe des gespiegelten Gegenstandes mehr oder weniger verkleinert. Die großen, inwendig entweder geschwärzten oder versilberten Kugeln, welche man zum Zierat in den Gärten aufstellt, lassen angenehme Beobachtungen darüber anstellen, und die beigegebene Abbildung Fig. 219 wird, wenn man das in bezug auf Hohlspiegel Gesagte hier in entsprechender Weise zur Anwendung bringen will, den Erscheinungen eine genügende Erklärung geben.

Dies sind die einfachsten Fälle gekrümmter Spiegel. Die komplizierteren Erscheinungen, welche in unzählig verschiedener Weise uns in der Natur gegenübertreten, lassen sich alle nach den hier entwickelten Gesetzen betrachten und zerlegen. Eine irgendwie wichtige Anwendung wird aber, ausgenommen etwa in den elliptischen und parabolischen Spiegeln, welche zu Beleuchtungszwecken benutzt werden, von ihnen nicht gemacht. Weder die verzerrten Bilder, welche in polierten Kegeln oder Cylindern regelmäßige Figuren erkennen lassen und als Kuriositäten vielfach in alten Sammlungen vorkommen (s. Fig. 220 und 221), noch die freischwebenden Bilder der Hohlspiegel, die, auf Rauchwolken oder Vorhängen aufgefangen, bei den Geistercitationen in früherer Zeit eine große Rolle gespielt haben mögen, können unser Interesse besonders mehr in Anspruch nehmen. Bei dem Spiegelteleskop und einigen andern Apparaten, in denen sphärische Spiegel eine Rolle spielen, werden wie aber Gelegenheit finden, uns der behandelten Sätze wieder zu erinnern.





Ist erst eine dunkle Kammer gemacht
Und finster als eine ägyptische Nacht,
Durch ein gar winzig Löchlein bringe
Den feinsten Sonnenstrahl herein,
Daß er dann durch ein Prisma dringe,
Alsbald wird er gebrochen sein.

Goethe.

Das Prisma und die Spektralanalyse.

Mythisches. Brechung des Lichtes. Im Wasser und in der Luft. Fata morgana. Das Prisma. Totale Reflexion. Die Camera lucida. Das Sonnenspektrum. Zerlegung des weißen Lichtes in farbige Strahlen. Ton und Farbe. Newtons Farbenlehre und Goethe. Fluoreszenz. Fraunhofersche Linien. Verschiedenheit der Spektra von verschiedenen Lichtquellen. Kontinuierliche Spektra und Spektra der Gase und Dämpfe. Geschichte der Spektralanalyse. Kirchhoff und Bunsen. Spektralapparate. Neuentdeckte Metalle. Anwendung der Spektralanalyse auf die Natur der Himmelskörper. Aus was besteht die Sonne? Protuberanzen.

Sieben Jungfrauen vereinigten sich — so lautet eine indische Fabel — um die Ankunft des Krischna (Gott des Lichtes) zu feiern. Als derselbe ihnen aber erschien und sie aufforderte, vor ihm zu tanzen, mußten sie trauernd gestehen, daß ihnen die Tänzer fehlten. Darauf teilte sich der Gott in sieben Teile und jede Tänzerin erhielt ihren Krischna.

Diese Mythe hat eine überraschende Sinnverwandtschaft mit einer Erzählung, die uns Pindar überliefert hat: Als die Götter die Erde unter sich geteilt hatten, war der Sonnengott vergessen worden, und es blieb, ihn zu entschädigen, nur eine Insel übrig, welche eben aus dem Meere auffstieg; diese erhielt er denn auch — es war die Insel Rhodos, nach der Geliebten des Sonnengottes, von welcher dieser sieben wunderbar begabte Söhne erhielt, genannt — und sie blieb dem Kultus des göttlichen Feuers heilig. — Auf den antiken Abbildungen ist Apoll mit einem aus sieben Lichtpunkten bestehenden Diadem geschmückt, und bei Julian heißt die Gottheit der Sonne der „siebenstrahlige Gott“, welche sinnvolle Bezeichnung chaldäischen Ursprunges sein soll.

Diese poetischen Anschauungen längst vergangener Zeiten spiegeln aber auf merkwürdige Weise sich in gewissen streng mathematischen Theorien der neueren Naturforschung wider. Mag es auch sein, daß die sieben durch Krischna beglückten Jungfrauen und die sieben Söhne der rhodischen Nymphe, wie so vieles andre, der heiligen Zahl zu Gefallen gedichtet worden sind und erst nach ihnen aus dem wunderbaren Bilde des Regenbogens sieben Farben herausgesucht wurden — gleichviel, in jenen Mythen liegt für uns die älteste Wurzel einer Farbenlehre, welche, durch die Newtonschen Entdeckungen wissenschaftlich begründet, einem weiten Gebiete von Erscheinungen als ein jetzt klar erkanntes sicheres Fundament unterbreitet ist.

Brechung des Lichtes. Das entzückende Farbenspiel des Diamants, die sinnetäuschende Fata morgana, die das Kleinste und das Fernste auflösende Kraft linsenförmig geschliffener Gläser, die „aus Perlen gebaute Brücke" des Regenbogens — sie beruhen alle auf einer einzigen Eigentümlichkeit des Lichtstrahls, eine andre Richtung einzuschlagen, wenn er aus gewissen durchsichtigen Körpern in andre übergeht, oder wenn die Dichtigkeit des Körpers, in welchem er sich fortbewegt, innerhalb der verschiedenen durchlaufenen Schichten verschieden groß ist. Diese Eigentümlichkeit heißt die Brechbarkeit des Lichtes. Augenscheinlich wird sie z. B., wenn wir in ein Becken, von welchem wir so weit entfernt stehen, daß sein Boden uns durch den Rand gerade verdeckt ist, ein Geldstück legen. Obwohl uns dasselbe bei unsrer angenommenen Stellung nicht sichtbar ist, so erscheint sein Bild doch augenblicklich, wenn das Becken mit Wasser gefüllt wird. Die von dem Geldstück reflektierten Lichtstrahlen werden, wenn sie aus dem Wasser in die Luft übergehen, von ihrem Wege abgelenkt, und es können somit jetzt deren in unser Auge gelangen, welche früher vorbeigehen mußten (Fig. 223). Das Bild liegt für uns daher in einer andern Richtung als sein körperlicher Gegenstand, und das ist auch die Ursache, warum man Fische im Wasser nicht treffen kann, wenn man nicht mit dem Gewehr etwas unterhalb der Stelle zielt, wo sie zu stehen scheinen. Die Ursache dieser Erscheinungen ist, daß der Lichtstrahl bei seinem Austritt aus Wasser in Luft, überhaupt bei dem Austritt aus einem dichteren in ein andres, optisch minder dichtes Mittel von der Senkrechten (dem Einfallslot) abgelenkt wird; umgekehrt wird Licht, das aus Luft in Wasser übergeht (Fig. 224), dem Einfallslot zugebrochen. Der Winkel a c d, den der einfallende Lichtstrahl a c mit dem Einfallslot d c macht, heißt der Einfallswinkel; Brechungswinkel ist derjenige, welchen der abgelenkte Lichtstrahl b c mit der Verlängerung des Einfallslotes c e macht, also der Winkel bce.



Fig. 223. Lichtbrechung durch Wasser.

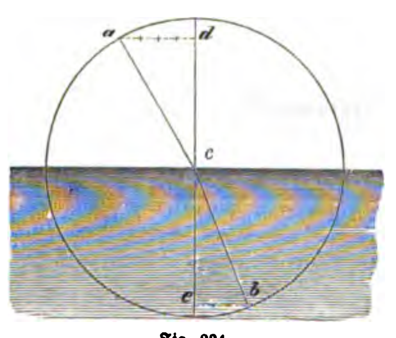


Fig. 224. Bestimmung des Brechungsverhältnisses.

Mit der Größe des Einfallswinkels ändert sich auch der Brechungswinkel, aber in einer ganz bestimmten Weise. Das Verhältnis der beiden Winkel zu einander oder vielmehr das Verhältnis ihrer Sinus zu einander, ad : be, ist konstant und heißt der Brechungsexponent. Dieses Gesetz ist im Jahre 1620 von Snellius entdeckt, aber erst im Jahre 1637 von Descartes veröffentlicht worden. Für die beiden Mittel, in denen sich der Lichtstrahl in Fig. 224 bewegt, würde der Brechungsexponent durch die Zahlen 4 und 3, und zwar für das obere Mittel, das weniger dichte, durch $^3/_4$, für das untere, das dichtere, durch $^4/_3$ ausgedrückt werde n, wenn man das andre allemal als Einheit annimmt. Bei den Anga ben ohne nähere Bezeichnung setzt man die Luft als Einheit. Je größer der Brechungsexponent für zwei Körper ist, um so größer ist der Unterschied ihrer lichtbrechenden Kraft. Wenn das Licht innerhalb der verschieden dichten

Schichten eines Körpers gebrochen wird, so steht deren lichtbrechende Kraft in engem Zusammenhange mit der spezifischen Dichtigkeit selbst. Bei Körpern von verschiedener Substanz darf man aber nicht, wie es häufig geschieht, Dichtigkeit und lichtbrechende Kraft so weit verwechseln, daß man allgemein sagt, der Lichtstrahl wird dem Einfallslote zugebrochen, wenn er aus einem dünnern in ein dichteres Mittel übergeht. Benzol z. B. bricht das Licht viel stärker als manche Glassorten, obwohl es viel weniger dicht ist. Wenn wir daher im Verlaufe des Folgenden die Begriffe dichter und dünner manchmal als Gegensatz der lichtbrechenden Kraft gebrauchen, so geschieht dies der Kürze des Ausdrucks wegen, und immer in dem Sinne, daß wir nur die optischen Eigentümlichkeiten, die optische Dichtigkeit dabei im Auge haben.

Die Fata morgana zeigt uns einen Fall, wo das Licht innerhalb eines einzigen Körpers gebrochen wird. Die ungleichmäßige Erwärmung durch die Sonne und namentlich die Ausstrahlung des Erdbodens dehnt die Luft in den übereinander liegenden Schichten verschieden aus, so daß die einzelnen Regionen eine verschiedene lichtbrechende Kraft erhalten. Es kann dann, wie das durch den Rand der Schüssel verdeckte Geldstück, auch eine jenseit des Horizonts liegende Landschaft sichtbar werden. Wechseln gar dünnere und dichtere Schichten regelmäßig miteinander ab, so werden die Zusammenstoßungsflächen noch Veranlassung zu Spiegelungen bieten, in deren Folge das Bild wiederholt — aufrecht und verkehrt — erscheint.

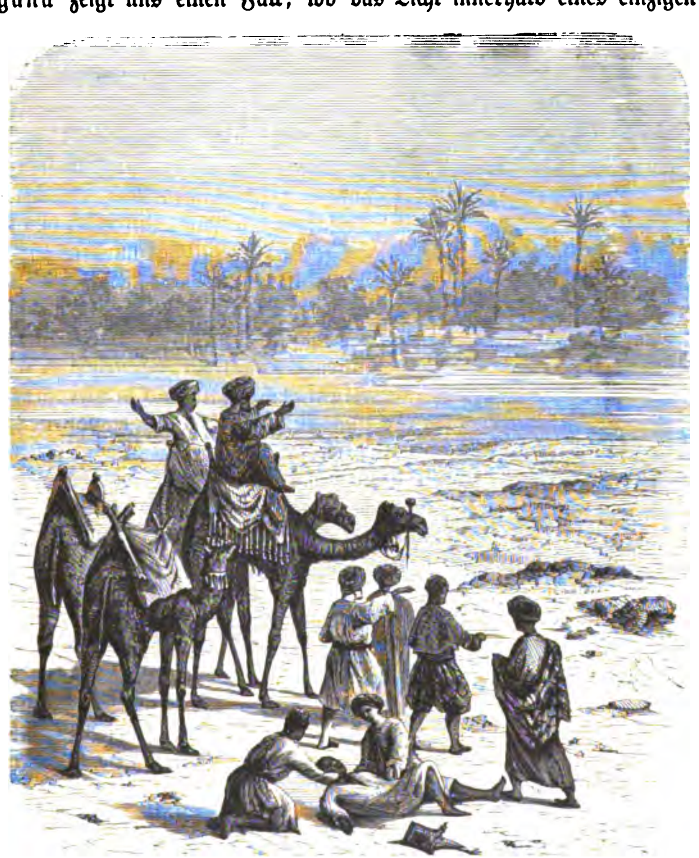


Fig. 225. Fata morgana.

Es hat keineswegs etwas Unerklärliches, wenn die Luft der verdurstenden Karawane lachende Oasen vorgaukelt; glaubten doch (nach Zeitungsberichten) auf dem Pik von Teneriffa die verwunderten Besteiger desselben die tausend Meilen entfernte Kette des Alleghanygebirges in Amerika zu erblicken.

Alle Lichtstrahlen, die, aus dem mit zartem Lichtäther erfüllten Weltraume kommend, in unsre dichtere Atmosphäre eintreten, werden ebenso abgelenkt und wir sehen infolgedessen nur die Sterne, welche gerade über uns, im Zenith, stehen, an ihrem wirklichen Orte, alle andern aber etwas zu hoch, und zwar um so mehr, je näher sie dem Horizont stehen, eine je dichtere Luftschicht also ihre Strahlen zu durchlaufen haben, ehe sie zu uns kommen. Dies Phänomen heißt in der Astronomie atmosphärische Refraktion.

Das Prisma, „jenes Instrument“, sagt Goethe, „welches in den Morgenländern so hoch geachtet wird, daß sich der chinesische Kaiser den ausschließlichen Besitz desselben

gleichsam als ein Majestätsrecht vorbehält, dessen wunderbare Eigenschaften uns in der ersten Jugend auffallen und in jedem Alter Verwunderung erregen", ein Instrument, auf dem beinahe allein die bisher angenommene Farbentheorie beruht, ist der Gegenstand, mit dem wir uns zunächst beschäftigen werden.

Was ein Prisma ist, das bedarf wohl keiner besonderen Auseinandersetzung. Glücklicherweise haben für uns die eifersüchtigen Ansprüche des „Sohnes der Sonne" keine bindende Kraft. Das einfache Instrument, ein dreiseitig geschliffener, mit glatten, in den Kanten parallelen, ebenen Flächen versehener, durchsichtiger Glaskörper, ist so verbreitet, daß sich jedes Kind an seinem bunten Farbenspiele erfreuen kann. Für den Physiker bedarf es zum Studium der prismatischen Erscheinungen sogar nur zweier, unter einem spitzen Winkel scharf zusammenstoßender ebener Flächen. Zu bequemerer Handhabung bei physikalischen Versuchen gibt man dem Prisma, welches dann aus durchgängig gleichem Glase auf das feinste geschliffen wird, eine Fassung von Messing, um es in jeder wünschenswerten Lage einstellen und befestigen zu können. Wie aus Glas, so stellt man Prismen auch aus andern durchsichtigen Körpern, sogar aus Flüssigkeiten und Gasarten dar, die man durch dünne Glasplatten einschließt.


Fig. 226. Prisma mit Fassung.

Wie verhält sich nun ein Lichtstrahl bei einem Durchgange durch ein Prisma? Dies soll uns Fig. 227, welche in dem Dreieck ABC den Durchschnitt eines gleichseitigen Prisma zeigt, deutlich machen. Es ist darin Ro der einfallende Lichtstrahl; AC und AB heißen die brechenden Flächen, die Kante A die brechende Kante, der von CA und BA bei A eingeschlossene Winkel der brechende Winkel, und die Fläche BC die Basis des Prisma. Bei seinem Eintritt in das dichtere Mittel wird der Strahl Ro dem Einfallslote zu gebrochen, bei seinem Austritt aus der Fläche AB aber dadurch, daß er nun wieder in die minder dichte Luft gelangt, von der Senkrechten abgelenkt. Anstatt seiner ursprünglichen Richtung zu folgen, geht er daher schließlich nach R' weiter. Halten wir also in der angegebenen Weise ein Prisma vor unser Auge, so werden wir die dahinter befindlichen Gegenstände nicht in ihrer wirklichen Lage in der Richtung MR erblicken, sondern dieselben erscheinen uns von ihrem Platze verrückt, und zwar in dem in Fig. 227 und 228 angenommenen Falle nach der Höhe zu versetzt, denn was für einen Strahl gilt, das gilt auch für alle andern von einem Gegenstande ausgehenden Strahlen.

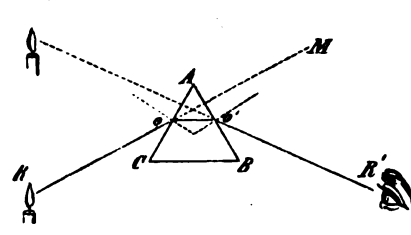


Fig. 227. Brechung des Lichtes durch das Prisma.

Die Größe der Ablenkung richtet sich nach der Größe des Winkels an A, nach der brechenden Kraft der Substanz des Prisma und nach der Größe des Einfallwinkels.

Die Camera lucida. Unter gewissen Verhältnissen kann der Strahl aus einem stärker brechenden Mittel in ein solches von geringerer Brechbarkeit gar nicht heraustreten. An dem Punkte nämlich, wo die Strahlen auf die trennende Fläche (ba in Fig. 229) so schief auftreffen, daß sie bei der Ablenkung an der Fläche selbst hingleiten würden, gehen die Brechungserscheinungen in Spiegelungserscheinungen über. Alle Strahlen, die noch schiefer gegen die Fläche treffen, werden von dieser reflektiert, und zwar vollständiger als von einem gewöhnlichen Metallspiegel, der immer einen großen Teil des Lichtes verschluckt. In unsrer Figur werden also die Strahlen, welche von dem innerhalb des dichteren Mittels gelegenen Ausstrahlungspunkte C ausgehen, eine verschiedene Behandlung erfahren, je nachdem ihre Richtung inner- oder außerhalb des durch voll ausgezogene Linien b angedeuteten Strahlenkegels, in Fig. 229 ober- oder unterhalb der Linien b liegen. Und zwar werden

alle diejenigen Strahlen, welche innerhalb jener Kegelfläche liegen, durch die trennende Fläche der beiden Mittel hindurch aus dem dichteren in das weniger dichte Mittel hinaustreten, die Strahlen b dagegen in der Richtung der Oberfläche weitergeleitet werden, weil sie gerade um den Winkel, unter dem sie auftreffen, von dem Einfallslote eine Ablenkung erfahren; endlich alle diejenigen Strahlen, welche unter noch kleinerem Winkel die Oberfläche treffen, müssen demzufolge ganz und gar reflektiert werden, sie können aus dem dichteren Mittel an dieser brechenden Fläche keinen Austritt finden. Da der Strahl in einem dichteren Mittel dem Einfallslote zu gebrochen wird, so kann sein Eintritt in ein solches immer eintreten, die totale Reflexion findet nur bei dem Austritt aus einem dichteren in ein weniger dichtes Medium statt und sie hat bei verschiedenen Körpern verschiedene Grenzen; bei Wasser und Luft ist der Grenzwinkel $48^1/_2$ Grad, beim Diamant gegen Luft noch nicht ganz 24 Grad.

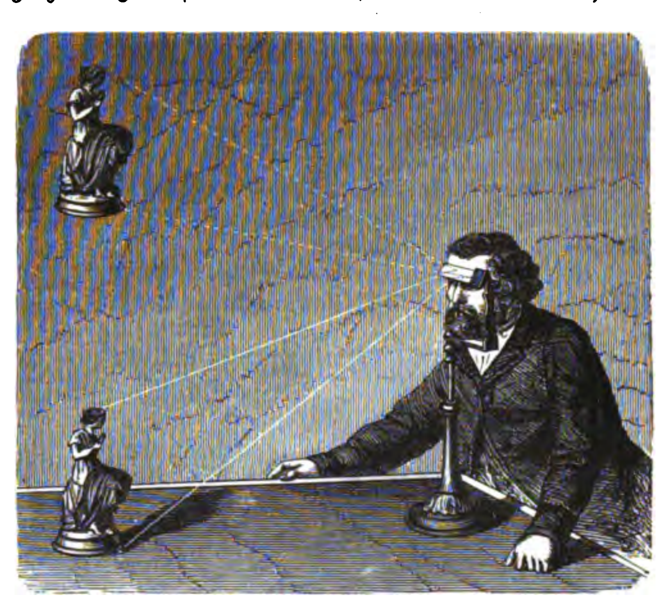


Fig. 228. Ablenkung des Bildes durch das Prisma.

Eine interessante Anwendung von dieser totalen Reflexion, die wir übrigens an jedem gefüllten Wasserglase beobachten können, hat man in der Konstruktion der Camera lucida gemacht. Der Apparat besteht wesentlich aus nichts weiter als aus einem sehr kleinen drei- oder vierseitigen Prisma, abcd (Fig. 230). Die Lichtstrahlen, welche senkrecht auf die Fläche ab in dasselbe eintreten, wollen durch die Fläche bc wieder hinaus. Der Winkel, den dieselbe macht, ist aber so gewählt, daß jene Strahlen total reflektiert und auf die Fläche cd geworfen werden, welche sie ganz in derselben Weise von sich abspiegelt. Erst die Fläche ad treffen sie steil genug, um aus ihr austreten zu können. Wenn der Beobachter sein Auge in der Richtung der austretenden Strahlen bringt, so wird er in derselben das Bild der gespiegelten Gegenstände sehen. Und wenn das Prisma so kleine Dimensionen hat, daß man neben demselben, wenn man es sehr nahe vor das Auge hält, noch vorbei sehen kann, so lassen sich auf einer in deutlicher Sehweite angebrachten weißen Papierfläche mittels eines Bleistiftes die Umrisse des gespiegelten Bildes deutlich umreißen. In dieser Form und Anwendung heißt der Apparat Camera lucida.

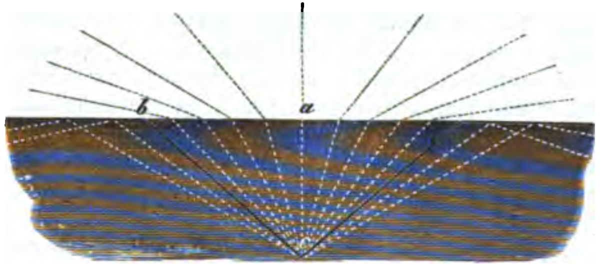


Fig. 229. Totale Reflexion.

Spektrum. Wenden wir uns aber zum Prisma zurück. Man sollte erwarten, daß, wenn man anstatt eines einzigen Lichtstrahles, den wir in praxi ja doch nicht isolieren können, ein Strahlenbündel, etwa wie es durch eine kleine kreisförmige Öffnung in ein sonst verdunkeltes Zimmer fällt, durch ein solches Instrument gehen läßt, daß dann dieses ganze Strahlenbündel infolge der Brechung gerade so von seinem Punkte abgelenkt werde

wie der einzelne Strahl, und daß auf der entgegengesetzten Wand ein weißes, kreisförmiges Lichtbild, wenn auch an einer andern Stelle als in der ursprünglichen Richtung des Strahles, sich abzeichnen müßte. Dem ist aber nicht so. Vielmehr machen wir, wenn wir den Versuch in der durch Fig. 231 angedeuteten Weise anstellen, die merkwürdige Beobachtung, daß das Bild der Öffnung durch das Prisma in die Länge verzogen und in regelmäßiger Art gefärbt worden ist. Dieses Bild nennen die Physiker Spektrum, und wenn es durch Sonnenlicht hervorgerufen worden ist, Sonnenspektrum. Es gleicht einem Stück Regenbogen; wir finden dieselben Farben hier wie dort, und in derselben Aufeinanderfolge von Rot zu Orange, Gelb, Grün, Blau, Indig und Violett. Am schönsten ist die Erscheinung zu beobachten, wenn man das Licht durch einen schmalen, vertikalen Spalt eindringen und durch ein Flintglasprisma gehen läßt, dessen brechende Kante den Rändern der Spalte parallel gestellt ist, die gebrochenen Strahlen aber durch ein Fernrohr betrachtet. Fig. 231 zeigt eine derartige Anordnung, und die über den einzelnen Partien des Spektrums stehenden Buchstaben deuten die Farbe der betreffenden Strahlen in der vorhin bezeichneten Reihenfolge von rechts nach links an.

Wollaston hat 1802 die Beobachtung in der angegebenen Weise zuerst gelehrt; der erste aber, welcher überhaupt das Spektrum im dunklen Zimmer durch eine kreisförmige Öffnung darstellte, war Newton. Ihm verdanken wir auch die richtige Deutung der merkwürdigen Erscheinung.



Fig. 230. Die Camera lucida.

Es unterliegt gar keinem Zweifel, daß die roten Strahlen des Spektrums durch das Prisma um eine geringere Größe von ihrer direkten Richtung abgelenkt worden sind als die violetten, und daß die dazwischen liegenden verschiedenfarbigen Strahlen eine verschiedene und um so größere Brechbarkeit besitzen, je weiter sie eben von der roten Grenze des Spektrums entfernt und je näher sie der violetten Grenze zu liegen. Und da nun nirgends etwas Neues zu dem Licht der Sonne hinzugekommen, so können wir nicht anders als annehmen, daß das uns weiß erscheinende gewöhnliche Licht nicht einfach ist, d. h. nicht aus Wellen besteht, die unter sich in jeder Beziehung vollkommen gleich sind, sondern daß in ihm Wellen von verschiedener Brechbarkeit enthalten sind, die eben durch das Prisma auseinander gestreut und nachdem sie nach ihrer Brechbarkeit förmlich sortiert worden sind, auf unser Auge einen verschiedenen, farbigen Eindruck machen. Hier haben wir den siebenmal geteilten Krischna, die sieben Söhne der gottgeliebten Nymphe, die sieben Lichtpunkte um das Haupt des Sonnengottes.

Licht von gleicher Brechbarkeit, welches durch das Prisma nicht weiter zerlegt werden kann und das kein verzogenes oder verschieden gefärbtes Spektrum gibt, heißt homologes Licht. Die einzelnen kleinsten vertikalen Partien des Spektrums bestehen aus solchem homologen Licht.

Es wäre aber ein mangelhaft gerechnetes Exempel, welches keine Probe zuließe. Können wir das weiße Licht in seine verschiedenen Bestandteile zerlegen, so muß sich notwendig auch aus der Wiedervermischung dieser Bestandteile vollkommenes Weiß erzeugen lassen. Und so ist es in der That. Das Mittel dazu hat ebenfalls Newton angegeben. Wenn man nämlich bei richtiger Stellung mittels eines entgegengesetzt gehaltenen Prisma von derselben brechenden Kraft wie das erste das Spektrum betrachtet, so werden die verschiedenen Partien desselben wieder zusammengeworfen, und man erblickt ein vollkommen weißes Bild der Öffnung. Fängt man nicht das ganze Spektrum, sondern nur einzelne Strahlenpartien desselben auf, so kann man die Bestandteile derselben auch durch ein zweites Prisma miteinander vermischen; nur entsteht dann nicht mehr Weiß, sondern es bildet sich eine Farbe, die ihrerseits mit den ausgeschiedenen Strahlen erst Weiß geben

würde. Nehmen wir Rot weg, so geben die noch übrig bleibenden Strahlen Grün; fehlt Blau, so erhalten wir Orange. Rot und Grün ergänzen sich zu Weiß, wie sich Blau und Orange und in derselben Art Violett und Gelb ergänzen. Jede Farbe hat also eine Ergänzungsfarbe, mit welcher sie Weiß gibt. Zwei solcherart zusammengehörige Farben heißen **Komplementärfarben**, und eine davon wenigstens ist allemal eine Mischfarbe. Ursprung und innerer Zusammenhang dieser Erscheinungen, welcher sich auf exakte Weise aus dem Spektrum ableitet, macht das Wesentliche der Newtonschen Farbenlehre aus.

Die Farben, das heißt selbstverständlich nicht die Farbematerialien, Pigmente, sind danach nichts andres als verschiedene Eindrücke auf unsre Sehnerven, durch Lichtstrahlen von verschiedener Brechbarkeit hervorgerufen, ebenso wie die Töne nichts außerhalb unsres Ohres Liegendes sind, sondern nur in unsrer Gehörempfindung bestehen, welche durch regelmäßige Aufeinanderfolge von Luftschwingungen in gewissen Geschwindigkeiten erregt werden. Wir werden späterhin Gelegenheit finden, über die Tonempfindung ausführlicher zu sprechen; hier sei es aber schon erlaubt, auf den analogen Zusammenhang zwischen Ton und Farbe aufmerksam zu machen.

Die verschiedene Brechbarkeit der Lichtstrahlen ist eine Folge der verschiedenen Geschwindigkeit, in welcher die Ätherschwingungen einander folgen, und die Farben stehen untereinander in einem ähnlichen Verhältnis der Höhe und Tiefe, wie die Töne der Musik, nur daß es sich bei ihnen, welche durch ein ungleich feineres Medium, den Äther, übertragen werden, auch um viel feinere Zeitunterschiede, um viel größere Geschwindigkeiten handelt. Wenn unser Ohr schon eine Wellenfolge von ungefähr 41 Erschütterungen in der Sekunde noch als Ton zusammenzufassen vermag, wird das Auge erst von Schwingungen erregt, die mit der Geschwindigkeit von 450 Billionen in der Sekunde in dasselbe eindringen. Jener tiefste Ton für das Ohr ist das Contra-E, für das Auge ist der tiefste Farbenton das dunkelste Rot des Spektrums. Der höchste musikalische Ton, den wir noch zu hören vermögen, hat eine Schwingungszahl von circa 24 000, und wir sind im stande, mehr als neun Oktaven mit dem Ohr zu unterscheiden. Dem Auge ist eine entsprechende Fähigkeit nicht gegeben, denn schon mit 800 Billionen Schwingungen in der Sekunde hört für dasselbe in dem äußersten tiefsten Violett die Farbenempfindung auf. Es vermag nicht einmal eine einzige ganze Oktave (welche ungefähr bis 900 Billionen Schwingungen gehen würde) zu umspannen. Es ist aber im höchsten Grade interessant, zu sehen, daß sich im Violett die Farbentöne, je mehr sie sich der Oktave nähern, auch um so mehr wieder dem roten Tone zuneigen, und wenn es uns Vergnügen macht, so dürfen wir uns vorstellen, daß ein entsprechend subtiles Auge die Schwingungen von 900 Billionen in der Sekunde wieder als reines, aber erhöhtes Rot, als eine Potenz von dem tiefsten Tone des Spektrums empfinden würde. Herrscht vielleicht für unsre Sinnesempfindungen eine Gruppierung der Erscheinungen nach Oktaven im ganzen Reich der Schwingungen, und liegt es vielleicht nur an der Mangelhaftigkeit unsrer Sinne, wenn wir diese Periodizität bloß in beschränktem Maße uns zum Bewußtsein bringen können? Die Schwingungen existieren über diese unsern Sinnen gezogene Grenze der Empfänglichkeit hinaus, wie die chemischen Wirkungen des Spektrums zeigen; es käme, um jene Frage zu lösen, für uns eben darauf an, uns ein Organ zu schaffen, welches in gleicher Weise die tiefsten Luftschwingungen, die wir

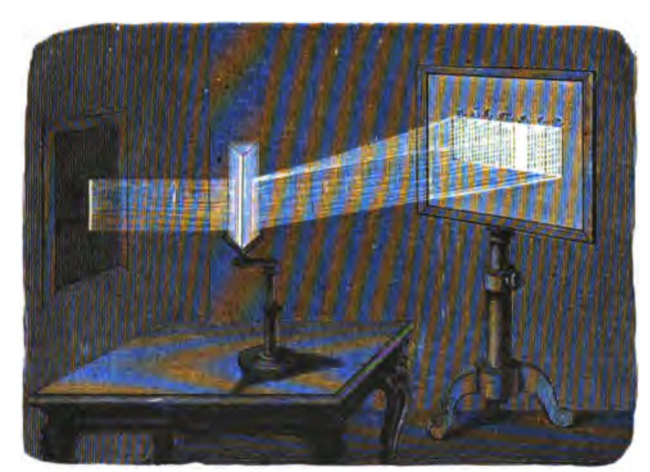


Fig. 231. Zerlegung des Sonnenlichtes durch das Prisma.

jetzt als solche empfinden, und dazu noch solche, denen eine Schwingungszahl von 900 Billionen zukommt, als Licht zu empfinden vermöchte. Ob manche Tiere eine solche erhöhte Empfindung besitzen, ist schwer zu entscheiden, unmöglich ist es nicht.

Ich kann mir nicht versagen, an dieser Stelle die geistreiche Schilderung Doves, die uns die Schwingungen zeigt, wie sie nacheinander Töne-, Wärme- und Lichtempfindungen bewirken, einzuschalten. Hören wir seine anschauliche Vorstellung:

„In der Mitte eines großen finstern Zimmers mag sich ein Stab befinden, der in Schwingungen versetzt ist, und es soll zugleich eine Vorrichtung vorhanden sein, die Geschwindigkeit dieser Schwingungen fortwährend zu vermehren. Ich trete in dieses Zimmer in dem Augenblicke, wo der Stab viermal schwingt; weder Auge noch Ohr sagt mir etwas von dem Vorhandensein dieses Stabes, nur die Hand, welche seine Schläge fühlt, indem sie ihn berührt. Aber die Schwingungen werden schneller, sie erreichen die Zahl zweiunddreißig in der Sekunde*) und ein tiefer Baßton schlägt an mein Ohr. Der Ton erhöht sich fortwährend; er durchläuft alle Mittelstufen bis zum höchsten schrillenden Ton; aber nun sinkt alles in die vorige Grabesstille zurück. Noch voll Erstaunen über das, was ich hörte, fühle ich (bei zunehmender Geschwindigkeit des schwingenden Stabes) plötzlich von der Stelle her, an welcher der Ton verhallte, eine angenehme Wärme sich strahlend verbreiten, so behaglich, wie es ein Kaminfeuer aussendet. Aber noch bleibt alles dunkel. Doch die Schwingungen werden noch schneller; ein schwaches rotes Licht dämmert auf, es wird immer lebhafter, der Stab glüht rot, dann wird er gelb und durchläuft alle Farben, bis nach dem Violett alles wieder in Nacht versinkt. So spricht die Natur nacheinander zu verschiedenen Sinnen, zuerst ein leises, nur aus unmittelbarer Nähe vernehmliches Wort, dann ruft sie mir lauter aus immer weiterer Ferne zu, endlich erreicht mich auf den Schwingen des Lichtes ihre Stimme aus unmeßbaren Weiten." — —

Bekanntlich hat Goethe gegen die einfachen Newtonschen Sätze eine eigne „Farbenlehre" geltend zu machen gesucht. Es widerstrebte dem großen Dichter, das Licht und die davon bedingten Erscheinungen einer mathematischen Behandlung unterworfen und den allbelebenden Strahl der Sonne gemessen und berechnet zu sehen. Deswegen verschloß er sich auch gegenüber der Beweiskraft experimentaler Untersuchungen und belächelte den Schluß der Anhänger des großen Briten, welche durch das Prisma die einzelnen Bestandteile des Sonnenstrahles zu sondern sich unterfingen.

Aufgedröselt, bei meiner Ehr'!
Siehst ihn, als ob's ein Stricklein wär',
Siebenfarbig statt weiß, oval statt rund; —
Glaube hierbei des Lehrers Mund:
Was sich hier auseinander reckt,
Das hat alles in einem gesteckt.

Dieser Goethesche Hohn hat ein ganzes Heer von Nachbetern gefunden. Indessen, so leidenschaftlich auch das Gebaren dieser Adepten sich zeigt — sie behandeln, ohne jedes Verständnis einer strengen, exakten Methode der Forschung, kritiklos allgemeine Phrasen als Begriffe, Deutungen und Vergleiche als fundamentale Wahrheiten. Wie natürlich, haben all ihre hitzigen Bestrebungen weder die Wissenschaft noch die Interessen des praktischen Lebens auch nur um eines Haares Breite gefördert — und es ereilt sie mit vollem Rechte das unabweisbare Los der Vergessenheit.

Außer den farbigen Strahlen des Spektrums gibt es, wie wir schon angedeutet haben, im Sonnenlichte auch noch Strahlen, welche auf unser Auge so ohne weiteres keinen Eindruck hervorbringen. Sie werden vom Prisma ganz in derselben Art wie die andern gebrochen; wie wir aber zu hohe Töne nicht mehr zu hören vermögen, so wirken auf unsre Sehnerven auch die Ätherwellen, deren Brechbarkeit über das Violett des Spektrums hinaus liegt, nicht mehr. Dagegen gibt es gewisse chemische Verbindungen, welche durch sie umgewandelt werden, und dieser Umstand hat darum auch die sogenannten chemischen Strahlen — als Becquerel 1842 das farbige Sonnenspektrum auf einer Daguerreotypplatte abbildete — entdecken lassen. Jetzt wissen wir, daß dieses chemisch wirkende Licht,

*) Helmholtz nimmt den tiefsten hörbaren Ton zu 40 Schwingungen an.

welches in der Photographie eine Hauptrolle spielt, durch mancherlei Substanzen, wie Chininlösung, Abkochung von Kastanienrinde, Uranglas u. dergl., zum Teil auch sichtbar gemacht werden kann. Diese Erscheinung ist als Fluoreszenz bekannt, und die Wirkung jener Substanzen besteht darin, daß sie die Schwingung der chemischen Strahlen verlangsamen, wodurch sie unserm Auge wieder als Licht bemerkbar werden.

Die Fraunhoferschen Linien. Wollaston schon hatte bei seinen Untersuchungen des Sonnenspektrums gefunden, daß dasselbe nicht, wie es auf den ersten Augenblick den Anschein hat, aus kontinuierlich ineinander übergehenden Partien besteht, sondern daß es in dem hellen Farbenstreifen einzelne rechtwinkelig gegen seine Länge gerichtete dunkle Striche zeigt (1802). Allein erst Fraunhofer, der berühmte Münchener Optiker, beobachtete (1814) diese Erscheinung genauer und fand dabei, daß die dunklen Streifen immer genau an derselben Stelle des Spektrums erscheinen, und ferner, daß ihre Zahl eine ungemein große sei; wie die Milchstraße in einzelne Sterne, so löften sich vor seinen schärferen Instrumenten die vorher dunklen Bänder in immer neue gesonderte Linien. Er selbst bestimmte 576 solche Linien, welche nach ihm die Fraunhoferschen Linien genannt worden sind.



Fig. 232. Dr. Joseph Fraunhofer.

Die am deutlichsten hervortretenden bezeichnete Fraunhofer mit Buchstaben, und es sind dieselben besonders dadurch wichtig, daß sie sich mit voller Bestimmtheit immer wieder auffinden lassen, wodurch sie das sicherste Mittel abgeben, die Brechungsverhältnisse der verschiedenen Körper auf das allergenaueste zu bestimmen. Der Herstellung optischer Instrumente und den davon abhängigen Disziplinen, Astronomie, Mikroskopie, Photographie u. s. w., hat diese unberechenbare Dienste geleistet. Und so wirken wissenschaftliche Erfolge Ungeahntes, wenn sie auch dem Auge der Menge oft als fruchtlos und als spitzfindige theoretische Tüfteleien erscheinen. Denn nichts ist in der Natur klein oder groß — alles gleich bedeutend im großen Ganzen.

Die Lage der Fraunhoferschen Linien im Sonnenspektrum zu veranschaulichen dürfte unsre Tontafel geeignet sein. Fig. 1 stellt das Sonnenspektrum dar. A, B und C liegen im Rot, D in Orange, E auf der Grenze zwischen Gelb und Grün, F zwischen Grün und Blau, G im Indigblau und H im Violett. Außer diesen Linien ist noch eine Gruppe von feinen Linien a zwischen A und B, b zwischen E und F charakteristisch. Die über dem Sonnenspektrum angebrachte Skala dient dazu, jede bestimmte Farbe oder Linie genau angeben zu können. Der Augenschein lehrt uns also, daß die Eigenschaften der verschiedenen Lichtwellen, welche das weiße Sonnenlicht zusammen bilden, nicht ganz allmählich ineinander übergehen, daß vielmehr dem Sonnenlichte, wenn es aus dem Prisma tritt, Strahlen von gewisser Brechbarkeit fehlen, oder daß diese wenigstens in viel geringerer Menge darin enthalten sind als die übrigen. Denn allerdings sind die Linien nicht allemal gänzlich lichtlos, sondern sie können unter Umständen sogar noch eine Verdunkelung erleiden.

Kontinuierliche Spektra und Spektra der Gase und Dämpfe. Anstatt des Sonnenlichtes kann man auch jedes andre Licht, wenn es nur intensiv genug ist, zur Erzeugung von Spektren benutzen. Das Drummondsche Kalklicht z. B., das elektrische Licht, geben

sehr glänzende Spektra, die sich vor dem Sonnenspektrum dadurch auszeichnen, daß sie **kontinuierliche** sind, d. h. durch keinerlei Lücken oder schroffe Übergänge in den Farben unterbrochen, noch von hellen oder dunklen Streifen durchzogen sind. Bei dem Drummondschen Licht ist der leuchtende Körper glühender Kalk, bei dem elektrischen Licht sind es glühende Kohleteilchen — beides feste Körper. So wie die genannten beiden Körper verhalten sich alle festen Körper, und wir stoßen immer auf kontinuierliche Spektra, mögen wir das Licht eines glühenden Platindrahtes, eines glühenden Kohlestiftes oder eines andern zwischen den Polenden einer galvanischen Batterie eingeschalteten Körpers untersuchen. Ganz andre Spektra dagegen erhalten wir, wenn wir das Licht von gasförmigen glühenden Körpern in geeigneter Weise durch ein Prisma gehen lassen. Die Spektra der Dämpfe und Gase sind nicht kontinuierlich, sondern sie bestehen im Gegenteil aus einer oder mehreren glänzenden farbigen Linien, welche durch dunkle Zwischenräume voneinander getrennt sind.

Das Licht gasförmiger Körper untersucht man mit Hilfe der von dem berühmten Physiker Plücker angegebenen und von dem Mechaniker Geißler in Bonn angefertigten Glasröhren, welche allgemein als Geißlersche Röhren bekannt sind. Dieselben haben für spektroskopische Untersuchungen gewöhnlich die Form, wie sie uns Fig. 233 zeigt. Sie sind an beiden Enden zugeschmolzen, nachdem sie vorher luftleer gemacht und mit dem betreffenden Gase gefüllt worden waren. Zugleich sind an den beiden Enden a und b Platindrähte eingeschmolzen, welche, mit den Polen eines Induktionsapparates in Verbindung gesetzt, den Übergang des elektrischen Funkens durch das Gas im Innern vermitteln. Das Gas wird dabei glühend und strahlt in eigentümlichem Lichte, welches an der dünnen Stelle der Röhre, wo der elektrische Flammenbogen zusammengedrängt ist, am intensivsten ist. Diese Stelle dient nun vorzugsweise für die Untersuchung des Spektrums, welches je nach den Umständen sehr merkwürdige Verschiedenheiten zeigt. Ist z. B. eine solche Geißlersche Röhre mit Wasserstoffgas von einer Atmosphäre Spannung gefüllt, so leuchtet der enge Teil, sobald die elektrischen Funken hindurchgeleitet werden, mit einem intensiven karminroten Lichte. Dicht vor den Spalt des Spektroskops gebracht, erzeugt dieses Licht ein Spektrum von drei besonders markanten Linien, deren erste im Rot, die zweite im Grünblau, die dritte im Blau gelegen ist; die Zwischenräume zwischen diesen Linien sind aber nicht ganz lichtleer, vielmehr zeigen sich Spuren eines kontinuierlichen Spektrums, welche bei Gas von größerer Dichtigkeit noch deutlicher auftreten, so daß das Spektrum in der That zu einem kontinuierlichen wird, wenn sich das Gas im Zustande der größten Dichtigkeit befindet.

Dagegen zeigt eine Röhre mit möglichst verdünntem Wasserstoffgas ein ganz abweichendes Spektrum. Dasselbe ist nicht rot, sondern grün, es besteht nicht aus drei, sondern aus einer einzigen Linie, welche an derselben Stelle liegt, wie die mittlere der vorhin betrachteten, und endlich ist von einem kontinuierlichen Spektrum nicht das Geringste zu bemerken, die einzige Linie ist vielmehr ganz scharf begrenzt.

Aus diesen Verschiedenheiten der Spektra, die sich bei allen Gasen in gleicher Weise wiederholen, kann der Beobachter also direkt einen Schluß machen auf die Dichtigkeit der lichtausstrahlenden Materie, nicht nur ob dieselbe fester oder gasförmiger Natur ist, sondern auch auf die Druckverhältnisse, in denen sich, wenn es sich um eine Gasart handelt, diese befindet.

Da nun die hellen, charakteristischen Linien sich nur in den Spektren der gasförmigen Körper zeigen, so wird es bei der Untersuchung eines Stoffes auf sein eigentümliches Spektrum immer zuerst darauf ankommen, ihn in eine Verbindung zu bringen, die durch die Flammenhitze in gas- oder dampfförmigen Zustand übergeführt wird. Die Erhitzung durch die Flamme genügt in vielen Fällen schon, wie man an der Veränderung bemerken kann, welche eine Spiritusflamme zeigt, in die man mittels eines schlingförmig gebogenen Platindrahtes ein Körnchen Kochsalz hält; in andern Fällen bringt man die betreffenden Körper zwischen die Pole einer galvanischen Batterie, oder setzt sie der Hitze eines Gebläsefeuers aus, oder führt sie in Verbindungen über, in denen sie leichter verdampfen u. s. w. Läßt das Spektrum eigentümliche helle Linien erkennen, so rühren diese immer von einem Körper im gasartigen Zustande her.

Das einfachste Spektrum zeigt das Natrium, s. Tonbild, Fig. 6 (Na), dasjenige Metall, welches im Kochsalz enthalten ist und sowohl für sich als in dieser Verbindung in Dampf

verwandelt werden kann. Es besteht das Spektrum des Natriumdampfes aus einer einzigen hellen, gelben Linie, deren Lage, das Sonnenspektrum als Maßstab angenommen, durch die Fraunhofersche Linie D ganz genau bestimmt wird. Lithion zeigt zwei mehr nach dem Orange und Rot hin gelegene Linien, Cäsium eine Liniengruppe im Gelb, Orange und Gelbgrün, außerdem aber zwei sehr charakteristische indigblaue Linien. Das Rubidium zeigt fünf Linienpaare im Rot, Orange, Gelb, Grün und Violett; Thallium eine Linie im Grün, Indium eine im Blau und eine schwächere im Violett. Glühendes Sauerstoffgas hat zwei Linien im Rot, eine im Gelb, eine Liniengruppe im Grün und drei zahlreiche Gruppen im Blau und Violett, wogegen Wasserstoff nur drei Linien hat: im Orange, Blau und Indig u. s. w.

Diese und zahlreiche analoge Erfahrungen haben nun jene neue Methode der Untersuchung in die physikalischen und chemischen Wissenschaften geführt, die so wunderbar in ihrer Einfachheit als überraschend in ihren Resultaten ist, die Spektralanalyse, und deren Wesen und Geschichte wir etwas näher betrachten müssen.

Die Spektralanalyse. Schon Fraunhofer machte die Bemerkung, daß in bezug auf die fehlenden Strahlen sich das Licht der Sonne, des Mondes und der Venus übereinstimmend verhält, daß dagegen in den Spektren mancher Fixsterne, wie des Prokyon, der Capella und der Beteigeuze, nur einige Linien, namentlich die Linie D, mit den Linien des Sonnenspektrums identisch sind. Brewster untersuchte 1822 die Fraunhoferschen Linien verschiedener gefärbter Flammen und beobachtete dabei neue und charakteristische Linien. Fünf Jahre später erklärte J. Herschel, der sich viel mit ähnlichen Untersuchungen beschäftigt und besonders die eigentümlichen Spektra von Flammen analysiert hatte, in denen Chlorstrontium, Chlornatrium und andre Salze verdampften, daß jene Substanzen ganz bestimmte Linien durch ihre Gegenwart in der Flamme hervorrufen und „daß man in der Verschiedenheit der Spektra ein ungemein scharfes Mittel habe, um äußerst geringe Spuren von gewissen Körpern zu entdecken.“ Ebenso bestimmt sprach sich Talbot aus, welcher gefunden hatte, daß im Spektrum der Alkoholflamme Kaliverbindungen einen ganz entschiedenen roten Streifen hervorbringen; „wenn seine Beobachtungen richtig seien, so werde ein Blick ins Spektrum genügen, um Substanzen zu entdecken, die anders nur durch mühsame chemische Analysen ermittelt werden könnten.“



Fig. 233. Geißlersche Röhre.

Aber trotz der so klar erkannten großen Bedeutung dieses Gegenstandes blieb die Beschäftigung mit ihm noch lange Zeit eine sehr vereinzelte. Es war auch über die Natur der Fraunhoferschen Linien noch zu viel zu erforschen, als daß eine derartige Bepflanzung des so wenig erkannten Gebietes, wie sie Herschel und Talbot ahnten, der Schritt für Schritt vorwärts gehenden Gelehrtenwelt schon an der Zeit geschienen hätte.

Woher entstanden die Fraunhoferschen Linien? An den Stellen, wo sie auftraten, fehlten offenbar die Lichtstrahlen. Aber waren dieselben schon von der Lichtquelle nicht mit ausgestrahlt worden, oder erst bei der Fortpflanzung durch den Äther, in der Atmosphäre u. s. w. verloren gegangen? Fast schien das letztere der Fall zu sein, denn Brewster bemerkte 1832 gewisse Linien erst oder wenigstens mit viel größerer Schärfe hervortreten, wenn die Sonne tief am Horizont steht und ihre Strahlen einen längeren Weg durch die Luftschichten durchlaufen müssen. Allein die abweichenden Spektra verschiedener Flammen, die Entdeckung Wollastons (1835) daß der elektrische Funke andre Linien zeige, wenn er von Quecksilber, andre, wenn er von Zink, Zinn, Kadmium und andern Metallen abspringt, welche Linien demnach in der Art der Lichtquelle ihre Ursache haben mußten; ferner der Umstand, daß nur einzelne Linien durch die Atmosphäre sich beeinflußt zeigten: alles zusammen zwang, wenn man auch gewisse Absorptionslinien annehmen wollte, neben diesen Linien noch ursprüngliche, den Lichtquellen eigentümliche zu erkennen. Diese ursprünglichen Linien und besonders die bereits betrachteten hellen Streifen homologen Lichtes, welche gewisse Flammen zeigen, in denen Metallsalze verbrennen, sind nun die Grundlage der Spektralanalyse geworden,

deren Ausbildung die Namen der beiden Heidelberger Naturforscher **Kirchhoff** und **Bunsen** so berühmt gemacht hat.

Wir dürfen bei der geschichtlichen Betrachtung des Verlaufes dieser genialen Entdeckung nicht die Wollastonsche Beobachtung vergessen, daß, wenn der elektrische Funke zwischen zwei verschiedenen Metallen überspringt, das Spektrum die Linien beider Metalle zugleich zeigt, und ebensowenig, daß Foucault, nachdem Fraunhofer die Übereinstimmung zweier heller Linien in den gewöhnlichen Flammenspektren dem Orte nach mit der Linie D des Sonnenspektrums dargethan, die Entdeckung gemacht hatte (1849), daß bei elektrischem Licht, welches wegen Verunreinigung der Kohlenspitzen die beiden gelben Natriumlinien zeigte, als man Sonnenlicht hindurchgehen ließ, im Spektrum an Stelle dieser hellen Linien eine intensiv schwarze Linie auftrat. Licht wurde hier also durch Licht zerstört; daß dies geschehen, deutete darauf hin, daß die Wellen gleicher Länge und gleicher Brechbarkeit sich gegenseitig in ihrer Wirkung aufheben — ein Fall, den wir in entsprechender Weise an zwei Wasserwellen bemerken können, wenn dieselben so miteinander verlaufen, daß die Thäler der einen Welle mit den Bergen der andern zusammenfallen, sich also ausgleichen. Es ist dies der Vorgang, welchen die Physiker „**Interferenz**" nennen. Außerdem aber müssen wir die Arbeiten von **van der Willigen**, **Swan**, **Stockes**, **Zantedeschi** und ganz besonders die klassischen Versuche erwähnen, die **Plücker** in Bonn über die absorbierende Kraft verschiedener Gasarten veröffentlichte. **Euler** hatte schon vor einem Jahrhundert in seiner „Theoria lucis et caloris" ausgesprochen, daß ein jeder Körper Licht von solcher Wellenlänge absorbiert, in welcher seine kleinsten Teilchen selbst oszillieren. Durch die neuen Entdeckungen schien dieser Satz Bestätigung zu finden, und **Angström** stellte 1853 das Gesetz auf, daß die Lichtstrahlen, welche ein glühendes Gas aussendet, ganz dieselbe Brechbarkeit haben wie diejenigen, welche von ihm absorbiert werden können.


Fig. 234. Gustav Robert Kirchhoff.

Kirchhoff und **Bunsen**, der erstere Professor der Physik, der andre Professor der Chemie in Heidelberg, brachten endlich die Untersuchungen zu einem glänzenden Abschluß, indem sie die Beobachtungen sammelten und auf einen wohl angedeuteten, aber früher nicht streng innegehaltenen Zweck bezogen. G. Kirchhoff konnte 1860 das fruchtbare Gesetz aufstellen und auf mathematische sowohl als auf experimentelle Weise bestätigen: „**Das Verhältnis zwischen dem Emissionsvermögen und dem Absorptionsvermögen einer und derselben Strahlengattung ist für alle Körper bei derselben Temperatur dasselbe.**"

Es ist dies das Fundamentalgesetz für die Spektralanalyse, denn es ergibt sich daraus, daß jedes Gas oder jeder Dampf dieselben Lichtstrahlen bei ihrem Durchgange absorbiert oder schwächt, welche von ihm selbst im glühenden Zustande ausgesendet werden; aus seiner Anwendung ergeben sich die merkwürdigsten Resultate für die physikalische Astronomie. In Gemeinschaft mit Bunsen hat Kirchhoff auch den Einfluß untersucht, welchen verschiedene Verhältnisse, niedrige oder höchste Temperaturen der Flamme u. s. w., auf das Spektrum ausüben und auch auf diesem Gebiete überraschende Ergebnisse erhalten.

Spektralapparate. Wir wollen zunächst den Apparat, dessen man sich zu bequemer Beobachtung und Untersuchung der Flammenspektra bedienen kann, beschreiben, und beziehen uns dabei auf Fig. 235, die uns denselben in seiner ursprünglichen einfachsten Form darstellt. Vorn bei a sehen wir die Lichtquelle, einen sogenannten Bunsenschen Brenner, in dem unteren Teile mischt sich das zugeleitete Leuchtgas mit atmosphärischer Luft. Dieses Gemisch leuchtet wenig, entwickelt aber sehr viel Hitze und läßt die mittels des Platindrahts b in die Flamme gebrachten Bestandteile sich verflüchtigen und in der Flamme mit verbrennen. Die Strahlen der Flamme dringen durch den engen Spalt des Deckels c, welcher ein inwendig geschwärztes und dem Prisma d zugerichtetes Rohr verschließt. Das Spektrum selbst beobachtet man durch das Fernrohr e in dem Prisma d. Das letztere läßt sich mittels eines Hebels f um seine Achse drehen; eine daran angebrachte Vorrichtung erlaubt die Größe dieser Drehung genau zu messen. Ein senkrecht gespannter Faden im Innern des Fernrohres bildet eine Marke, auf welche die Linien allemal einspielen müssen, und man kann, wenn man für die hauptsächlichsten dunklen Linien des Sonnenspektrums die Drehungswinkel gemessen hat, die Lage aller Linien eines andern Spektrums in bezug auf jenes sicher erkennen.

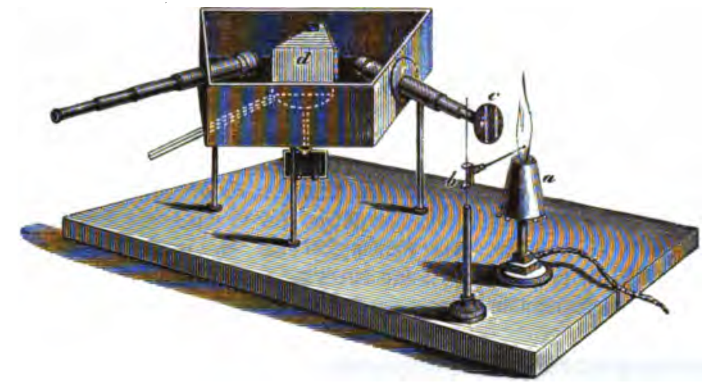


Fig. 235. Das Kirchhoff-Bunsensche Spektroskop.

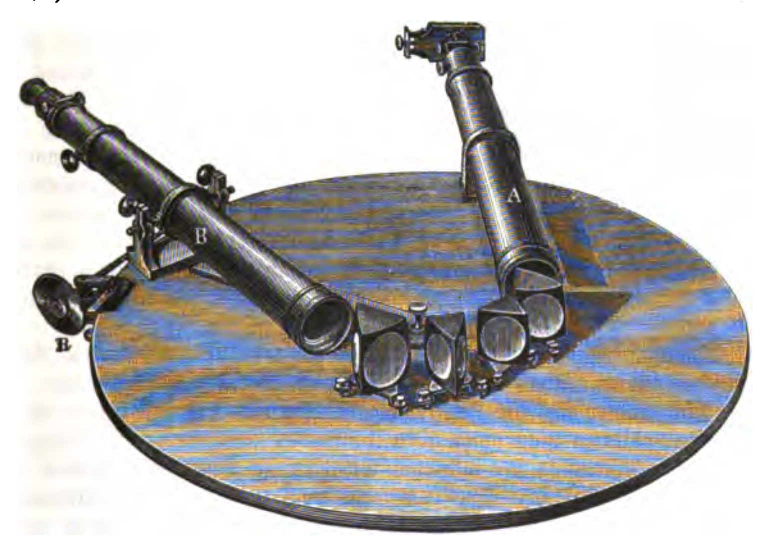


Fig. 236. Kirchhoffs Spektroskop von Steinheil.

Dieser Apparat hat für viele Zwecke in seiner wenig kompendiösen Form mancherlei Unbequemes, es sind daher von den Physikern und Mechanikern sehr bald Vervollkommnungen angegeben und auch eine Anzahl Hilfsapparate konstruiert worden, welche teils der Messung, teils der Vergleichung der Spektra dienen. Immer aber ist das Wesentliche: der Spalt, durch welchen das von dem leuchtenden Körper ausgehende Licht einfällt; das Prisma, welches denselben in das Spektrum zerlegt, und das Fernrohr, durch welches man

das letztere beobachtet. Dieser Teil des Apparates kann, wenn es sich darum handelt, das Spektrum einer Anzahl von Personen zugleich sichtbar zu machen, auch wegbleiben und an seine Stelle ein weißer Schirm gebracht werden, auf welchem man die gebrochenen Strahlen auffängt. Es sind indessen dann ganz besonders wirksame Lichtquellen anzuwenden, weil bei der Ausbreitung über den größeren Raum entsprechend viel an Helligkeit verloren geht. Damit die Strahlen parallel auf das Prisma fallen, bringt man zwischen demselben und dem Spalt eine Sammellinse, die sogenannte Kollimatorlinse, an, und um die zerstreuende Wirkung zu verstärken, läßt man die Lichtstrahlen durch zwei und mehrere Prismen gehen. Ein solches Arrangement zeigt das nach Kirchhoffs Angaben von **Steinheil** in München ausgeführte Instrument (Fig. 236); dasselbe besitzt vier Prismen, von denen drei einen brechenden Winkel von 45 Grad haben, das vierte einen von 60 Grad besitzt. Das Rohr A trägt an seinem vorderen Ende die Spaltvorrichtung, B ist das Fernrohr, durch welches das Spektrum beobachtet wird. Es ist auf seiner Unterlage mittels der Mikrometerschraube R drehbar, und können dadurch die feinsten Winkelgrößen gemessen werden. **Browning** in London, der sich durch die Herstellung ausgezeichneter spektroskopischer Apparate einen berühmten Namen gemacht hat, hat sogar bei einem Spektroskop, das er für die Sternwarte in Kiew baute, ein Arrangement von neun Prismen angewandt. Fig. 237 zeigt den Gang, den die Lichtstrahlen durch deren Zwischenschaltung zu nehmen gezwungen werden. Derartige Instrumente sind für die feinsten wissenschaftlichen Untersuchungen notwendig; für viele Fälle genügt aber schon ein Apparat, der nicht die höchstmögliche Genauigkeit erreichen zu lassen braucht, wenn dafür seine Handhabung eine leichte und bequeme ist. Namentlich ist für die Untersuchung solcher Spektra, welche nicht von einem konstanten, festen, leuchtenden Punkte ausgehen, der Umstand, daß die Einfallsrichtung des Strahles und die Sehrichtung des Fernrohres einen Winkel machen, insofern störend, als dadurch die rasche Einstellung des Apparates sehr gehindert wird und manche nur kurze Zeit aufleuchtende Phänomene, wie Sternschnuppen, gar nicht damit zu untersuchen sein würden. Man hat sich daher sehr bald Mühe gegeben, Apparate zu konstruieren, welche gestatten, den Lichtstrahl in derselben Richtung, wie er einfällt, zu untersuchen, sogenannte **geradsichtige Spektroskope** (à vision directe). **Amici** war der erste, welcher im Jahre 1860 das Problem löste.

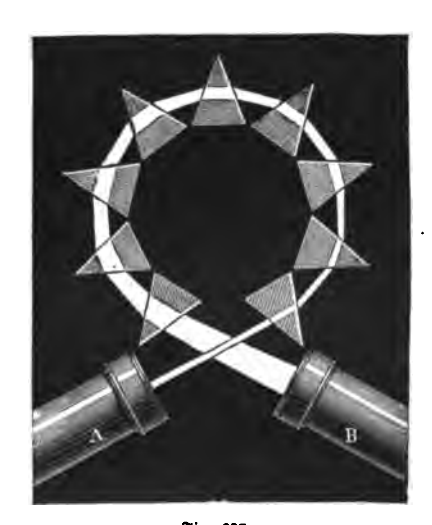


Fig. 237.
Gang der Lichtstrahlen durch neun Prismen.

Es ist hinlänglich bekannt, und wir werden Gelegenheit haben, bei der Besprechung der achromatischen Linsen etwas genauer auf diesen Gegenstand einzugehen, daß die Ablenkung der Lichtstrahlen und die Zerstreuung (Dispersion) des Spektrums für Prismen von verschiedenen Glassorten nicht unter allen Umständen gleich sind. Ein Flintglasprisma gibt bei gleichgroßer Ablenkung der mittleren Strahlen ein Spektrum, welches viel mehr in die Länge gezogen ist als das Spektrum, das von einem Crownglasprisma hervorgerufen wird. Wenn man also ein Flintglasprisma mit einem entsprechend geschliffenen Crownglasprisma in umgekehrter Lage so kombiniert, daß das eine die Ablenkung des andern wieder aufhebt, so werden die Strahlen zwar in der Einfallsrichtung weiter gehen; sie werden aber, da die Dispersion nicht ebenso vollständig aufgehoben worden ist, immer noch zerstreut bleiben und bei ihrem Austritt ein Spektrum, wenn auch von geringerer Breite als das ursprüngliche, bilden. Durch Aneinanderfügung mehrerer solcher Prismenpaare kann man nun die zerstreuende Kraft vermehren, und die Instrumente, welche Amici, Janssen in Paris und Browning in London konstruiert haben, sind nach dem Prinzip eingerichtet, welches durch Fig. 238 versinnlicht wird. Browning hat **Taschenspektroskope**

in den Handel gebracht, deren Länge nicht mehr als 8 cm beträgt und die man wie ein kleines Fernrohr direkt auf den leuchtenden Punkt zu richtet und sehr bequem zur spektroskopischen Untersuchung der Sternschnuppen benutzen kann. Dieselben enthalten ein System von sieben Prismen, Kollimatorlinse und Beobachtungsfernrohr, wie die größeren Apparate. An diesen letzteren sind bisweilen noch Hilfsapparate angebracht, Maßstäbe, Teilungen oder Vorrichtungen, welche die gleichzeitige Betrachtung zweier von verschiedenen Lichtquellen ausgehender Spektren zur Vergleichung gestatten; davon kann natürlich bei den Miniaturspektroskopen nicht die Rede sein.

Man kann sich bei Beobachtung der Sonne infolge ihres sehr intensiven Lichtes stark zerstreuender Spektroskope bedienen, handelt es sich dagegen um das schwache Licht der Planeten, der Fixsterne oder gar der Kometen und Nebelflecke, so kann man in sehr vielen Fällen die Zersetzung des Lichtes nicht weit treiben, weil das Spektrum sonst zu schwach wird. Man bedient sich dann des sogenannten Stern-Spektroskops. Unsre Abbildung Fig. 239 zeigt das von Huggins konstruierte. Es besteht aus einer Sammellinse, hinter der einige Prismen à vision directe, wie in der Figur zu sehen, angebracht sind und auf welche dann eine sogenannte Cylinderlinse folgt. Durch letztere wird das punktförmige Bild eines Sternes in ein schmales fadenförmiges Spektrum verwandelt. An dieses Spektroskop wird nun die Okularröhre eines Fernrohrs angeschraubt.

Wir wollen hier bei Beschreibung der Apparate, die uns das schwierige Studium des Spektrums erleichtern, der Heranziehung der Photographie auf diesem Gebiete noch Erwähnung thun. Da nämlich die Fixsterne u. s. w. nicht wie unsre Sonne helle, sondern dunkle Linien geben, so bietet die Beobachtung solcher Spektra dem Auge nicht geringe Schwierigkeiten dar. Hier bediente man sich der Photographie als eines willkommenen Hilfsmittels. Wenn nun auch die Photographie Rot und Gelb nur unter günstigen Umständen gibt, so zeigt sie dafür die Linien im Blau und Violett, für welche unser Auge sehr wenig empfindlich ist, sehr deutlich. Beispielsweise sei erwähnt, daß Huggins bei seiner Untersuchung des Siriusspektrums, von dem später noch die Rede ist, sich mit großem Erfolge der Photographie bediente; denn zu seiner Überraschung zeigten sich neben den ihm schon bekannten drei Linien des Wasserstoffs noch eine Reihe nie beobachteter Linien in dem violetten Teil, von dem man nicht wußte, welchem Körper sie angehörten.



Fig. 288. Janssens geradsichtiges Prismensystem.

Man verspricht sich von der Photographie auf diesem Gebiete noch sehr viel und sucht sich nach diesen überraschenden Resultaten in der Ausbildung der Beobachtungsmethode und der Instrumente immer mehr zu vervollkommnen.

Resultate der Spektralanalyse. Dasjenige, was die Spektralanalyse auszeichnet vor allen andern Methoden der exakten Forschung, ist die an das Wunderbare grenzende Empfindlichkeit, welche gleichwohl, da sie auf einfache Maßunterscheidung basiert, jede Täuschung ausschließen läßt. Die Reaktionen sind so fein, daß z. B. von Natron der fünfmalhunderttausendste Teil eines Pfundes, in weitere Dreimillionenteile geteilt, noch deutlich die charakteristische Linie erkennen ließ. Wir finden durch das Spektroskop, daß bei Westwind sich mehr Natron in der Luft befindet als bei Nordost, weil dort der Wind über das kochsalzhaltige Meerwasser, hier aus den weiten Länderstrecken und Steppen des ungeheuren russischen Reiches zu uns kommt.

Im Verlauf der Untersuchungen, die Kirchhoff und Bunsen anstellten, mußte es nun ganz besonders überraschen, nicht nur daß manche Körper, die man früher für sehr selten in der Natur vorkommend angesehen hatte, sich jetzt plötzlich weitverbreitet und fast in allen Gesteinen und Wässern, wenn auch in ungemein geringer Menge, verrieten, sondern noch mehr, daß manchmal helle Linien im Spektrum erschienen, welche mit den Linien aller übrigen bekannten Stoffe durchaus nicht übereinstimmend waren. So fiel den beiden

Forschern zuerst mitunter eine prachtvolle rote, noch vor der Kaliumlinie auftretende helle Linie auf, und zugleich mit ihr erschienen allemal im Verlaufe des Spektrums einige andre Linien von konstanter Lage; sodann ließ sich bisweilen eine ganz besonders helle und schön gefärbte blaue Linie bemerken, die ebenfalls von bestimmten andern Linien begleitet wurde und mit der blauen Strontiumlinie gar nicht verwechselt werden konnte. Bisweilen kamen die beiden neuen Linien zusammen vor, bisweilen beobachtete man die rote allein mit ihrem Hofstaate, andre Male sah man wieder das System der blauen Linie gesondert, und vorzugsweise waren es gewisse Mineralien, Lepidolith z. B. und die Dürkheimer Sole, welche die Erscheinung in ganz besonderer Schönheit bemerken ließen.

So überraschend diese Entdeckung den Forschern war, so überraschend mußte der ganzen gebildeten Welt das Ergebnis sein, welches sich daran knüpfte. „Die Linien müssen eine Ursache haben; nach allen Erfahrungen muß dieselbe eine den Ursachen andrer heller Linien ähnliche sein; die übrigen hellen Linien werden durch Stoffe hervorgebracht, deren Dampf in der Flamme glüht; in unsrer Flamme muß also ein oder müssen mehrere Körper glühen, welche mit den uns bis jetzt bekannten ebensowenig übereinstimmen, wie die beiden von ihnen hervorgerufenen hellen Linien mit den bisher bekannten; in dem Lepidolith und der Dürkheimer Sole müssen ein paar neue Elemente stecken, von denen die Chemiker noch keine Ahnung haben.

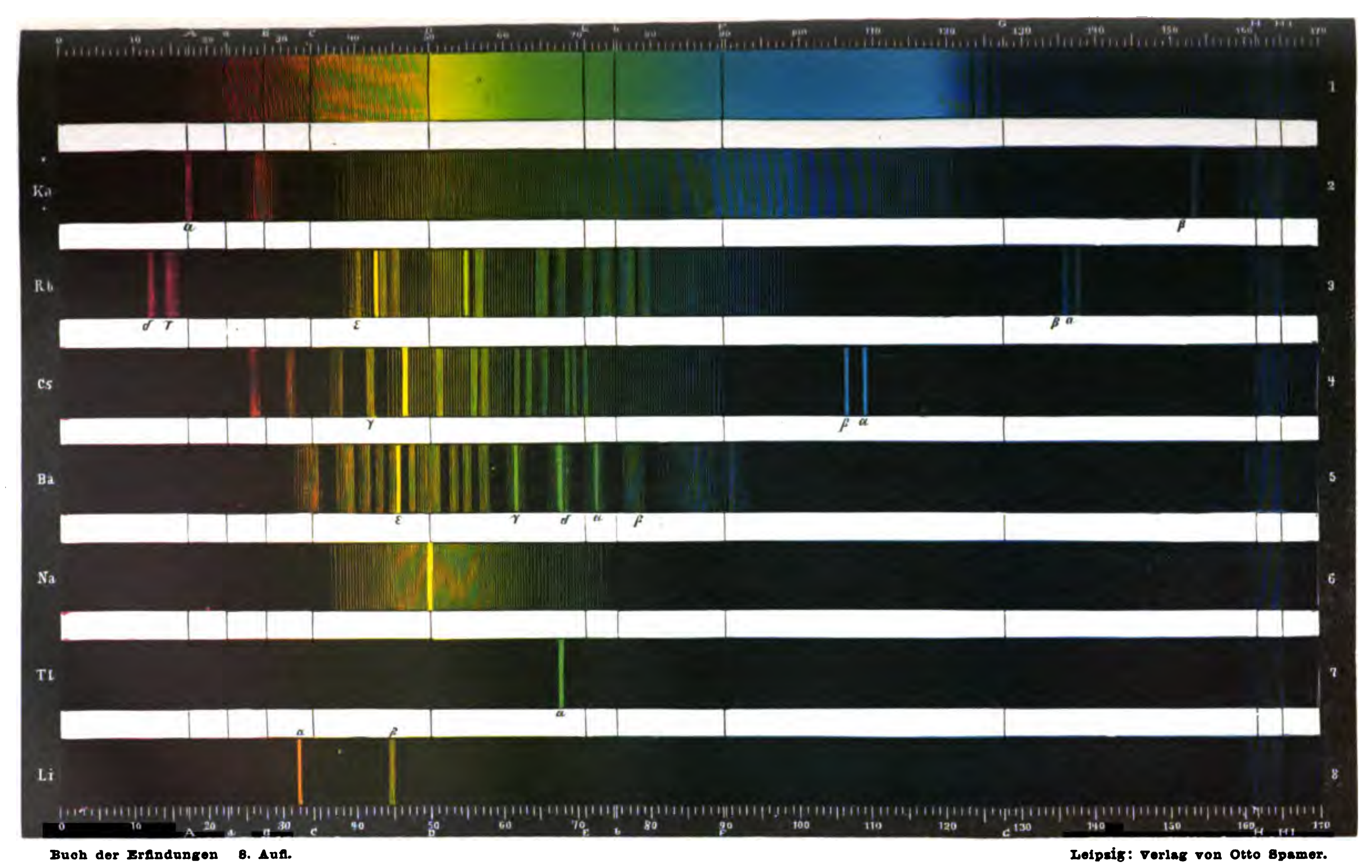
So urteilten Kirchhoff und Bunsen. So urteilte einst Leverrier in Paris, als er die Beobachtungen gewisser Störungen im Laufe der Planeten seiner Rechnung unterwarf und den Neptun herausrechnete. Der Neptun wurde gefunden und die beiden neuen Elemente wurden auch dargestellt, und zwar von ihren Entdeckern selbst, welche sie nach der Farbe ihrer charakteristischen Linien mit den Namen Rubidium und Cäsium belegten. Beides sind Metalle von größerer Verwandtschaft zum Sauerstoff als das Kalium, mit dessen Verbindungen ihre Salze einige Übereinstimmung erkennen lassen, so daß sie sich in reinem, gediegenem Zustande in der Natur gar nicht erhalten können. Ihre Reindarstellung gelang mit Hilfe der galvanischen Batterie.

Später als die beiden genannten Metalle wurde auf dieselbe Weise das Indium von Reich in Freiberg, und das Thallium, welches letztere sich durch eine sehr deutlich hervortretende lauchgrüne Linie bemerklich macht, entdeckt.

Aber diese Auffindung neuer chemischer Elemente allein war es nicht, was der Spektralanalyse plötzlich eine so große Bedeutung unter den physikalischen Methoden gab; vielmehr erschien dies geringfügig gegen die Entdeckungen, welche die Lichtanalyse in denjenigen Räumen des Weltalls darbot, aus denen eben nichts zu uns herüber reicht als die Wellenerschütterung des Äthers, und die uns so lange dunkel bleiben mußten, als wir jene Lichtschwingungen nicht verstanden. Das Verständnis wurde durch die Spektralanalyse gegeben.

Nachdem man die Spektra aller möglichen irdischen Stoffe untersucht und die Gesetze erkannt hatte, nach denen sie sich verändern, je nachdem in der Flamme ein Körper allein oder in einer chemischen Verbindung glüht, je nachdem der Körper fest, flüssig oder gasförmig ist; nachdem man den Einfluß erkannt hatte, welchen erhöhter oder verminderter Druck ausübt, dem der leuchtende Körper ausgesetzt ist, oder die Temperatur, in welcher er ins Glühen kommt; nachdem alle diese Umstände in der erschöpfendsten Weise untersucht und zu diesen Untersuchungen entsprechende Apparate und Methoden erfunden worden waren, ergaben sich aus der Zusammenstellung der erlangten Resultate und aus der Diskussion der gemachten Beobachtungen Schlüsse von vordem ganz ungeahnter Tragweite. Man erhielt Aufschluß über die chemische Natur der Körper unsres Sonnensystems nicht nur, sondern ebenso über die Zusammensetzung der Fixsterne, von denen der nächste doch gegen 4 Billionen Meilen von uns entfernt ist; ja man durfte sogar die Lösung der Fragen erwarten: ob sich diese entfernten Himmelskörper im Weltraum bewegen oder nicht und in welcher Richtung und mit welcher Geschwindigkeit.

Der schon erwähnte englische Astronom Huggins hat z. B. das Licht des Sirius untersucht, und aus der nach einer bestimmten Seite gehenden Verbreiterung einer gewissen dunklen Linie durfte er schließen, daß sich der Sirius von dem Punkte des Weltalls, den unser Sonnensystem einnimmt, mit einer Geschwindigkeit von $29{,}4$ englischen Meilen in der Stunde hinwegbewegte.



Buch der Erfindungen 8. Aufl.

Leipzig: Verlag von Otto Spamer.

Zusammenstellung des Sonnenspektrums (1), mit den Spektren der Flammen von Kalium (2), Rubidium (3), Cäsium (4), Baryum (5), Natrium (6), Thallium (7), Lithium (8).

Als Kirchhoff sein spektralanalytisches Grundgesetz erwiesen hatte, daß das Gas oder der Dampf eines Körpers dieselben Lichtstrahlen absorbiert, welche jener Körper aussendet, wenn er in ebenfalls gasförmigem Zustande ins Glühen kommt, lag zuerst eine richtige Deutung der Fraunhoferschen Linien des Sonnenspektrums nahe. Verglichen mit den Spektren der irdischen Stoffe zeigte es sich, daß eine sehr große Anzahl dieser dunklen Linien genau der Lage nach mit vielen der hellen Linien zusammenfielen, welche die Spektra der irdischen Stoffe zeigten. Das Eisen z. B. zeigt 460 helle Linien, genau zusammenfallend mit ebensovielen dunklen des Sonnenspektrums; Kirchhoff, Hoffmann, Angström und Thalén haben dies nachgewiesen; das Titanspektrum hat über hundert mit Fraunhoferschen Linien übereinstimmende helle Linien; die hellen Linien des Natrium, Kalium, Mangan, Chrom, Nickel, des Calcium, des Baryt, des Magnesium, des Goldes, des Wasserstoffs u. s. w. kehren im Sonnenspektrum als dunkle wieder.

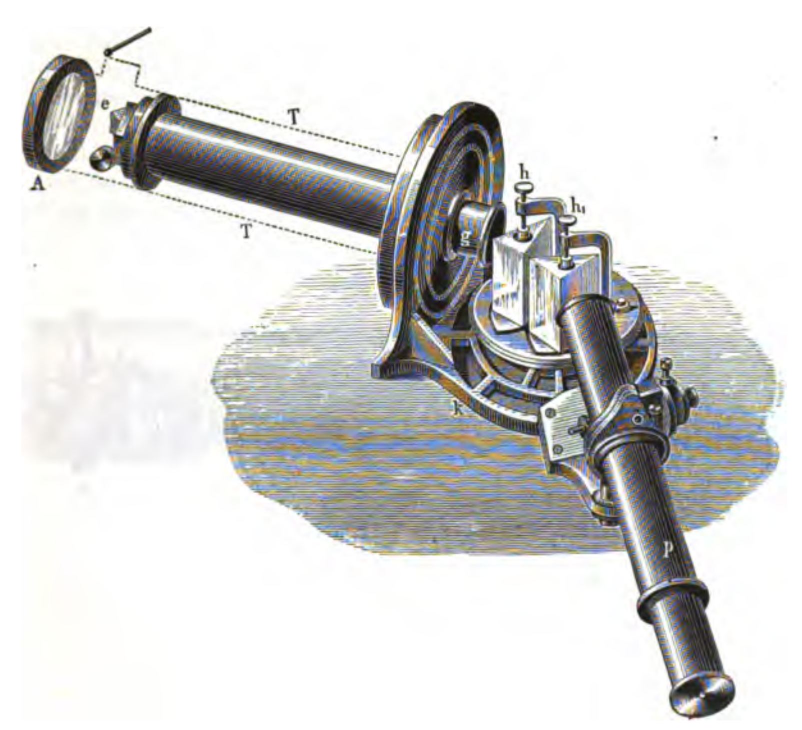


Fig. 239. Sternspektroskop von Huggins.

Das Kirchhoffsche Gesetz war bewiesen und es war nur eine ganz logische Anwendung, wenn man schloß, daß um die helleuchtende Sonne eine Atmosphäre schwebe, welche alle die vorbenannten Stoffe in dampf- oder gasartiger Form enthalte und die, kraft ihrer Zusammensetzung das von dem glühenden Sonnenkern ausgehende kontinuierliche Licht zum Teil absorbiere. Wenn man die große Anzahl von Linien in Erwägung zieht, welche manche Spektra mit den dunklen Linien des Sonnenspektrums übereinstimmend zeigen, so wird man an eine Zufälligkeit nicht mehr glauben und jener Theorie, wenn sie auch in manchen Einzelheiten noch eine oder die andre Modifikation erfahren kann, doch darin, daß die durch das Spektrum angedeuteten Stoffe auf der Sonne vorkommen, den höchsten Anspruch auf Richtigkeit zuerkennen müssen. Silber, Quecksilber, Antimon, Arsen, Zinn, Blei, Kadmium, Strontium und Lithium zeigen eine solche Übereinstimmung der Spektra nicht, ebenso das Silicium und der Sauerstoff; daraus aber schließen zu wollen, daß diese Stoffe auf der Sonne nicht vorkommen, dürfte dennoch gewagt sein, da ebenso gut noch nicht erforschte Umstände gerade die Spektra dieser Körper beeinflußt haben können.

Aber neben diesem hat man auch Blicke in die Lebensthätigkeit der Sonne gethan. Man hat in dem Spektroskop ein Instrument entdeckt, welches die rätselhaften Protuberanzen*), die man bisher nur bei totalen Sonnenfinsternissen beobachten konnte, jederzeit bei hellem Sonnenschein nachweisen und in ihrer Lage, Form und Größe bestimmen läßt. Ein Phänomen, das zu beobachten man vordem und noch in den Jahren 1868 und 1869, welche durch totale Sonnenfinsternisse ausgezeichnet waren, ganz besonders großartige und kostspielige Expeditionen ausrüstete, ist jetzt der tagtäglichen Beobachtung und Untersuchung zugänglich geworden. Alles deutet darauf hin, daß die Protuberanzen gewaltige Wasserstoffausströmungen sind, welche aus dem Sonnenkern an einzelnen Stellen plötzlich und unter sehr großem Druck hervorbrechen, denn ihr Spektrum besteht aus mehreren hellen Linien, die mit den Linien des Wasserstoffs übereinstimmen. Indem man den feinen Spalt des Spektroskops, durch welchen man das Licht für das Spektrum einfallen läßt, radial so gegen die Sonnenseite richtet, daß er diese nur zum geringen Teile mit deckt, erhält man außer dem Sonnenspektrum auch das Spektrum der Protuberanz, wenn sich eine solche gerade an der Stelle des Sonnenrandes befindet, und man kann beide, auch wenn sie sich decken, sehr gut voneinander unterscheiden, da das Sonnenspektrum von dunklen Linien durchzogen ist, das der Protuberanz aber nur aus hellen Linien besteht, die sich selbst auf dem Sonnenspektrum noch bemerklich machen, wenn man das Sonnenlicht durch sehr weit getriebene Zerstreuung mittels einer großen Anzahl von Prismen beträchtlich schwächt. Die hellen Linien der Protuberanzen werden dadurch nicht mit zerstreut, sie behalten vielmehr ihre Intensität bis auf die Verminderung, die sie an ihrer Helligkeit durch die Absorption, welche das Glas bewirkt, erfahren.



Fig. 240. Universalspektroskop von Prof. Vogel.

Man hat die Nebelflecke durch das Spektroskop als dunstförmige Wolken kennen gelernt, die Sternschnuppen und Feuerkugeln untersucht und ihre Kerne als glühende, feste Körper gefunden, denn die Spektra derselben sind kontinuierlich. Das Spektrum der Nebelflecke ist kein kontinuierliches. Es besteht vielmehr aus einzelnen Linien, und daraus muß geschlossen werden, daß jene kosmischen Gebilde, über deren materielle Natur man sich vordem durchaus keine begründete Vorstellung machen konnte, Gasmassen im Zustande sehr großer Verdünnung sind. Und zwar läßt die Übereinstimmung, welche die Spektren einiger Nebelflecke, so z. B. der Ringnebel in der Leier, der Nebelfleck im Wassermann, mit den Spektren des Stickstoffgases zeigen, den weiteren Schluß zu, daß die genannten beiden Gase einen wesentlichen Anteil an der stofflichen Zusammensetzung jener lichtstrahlenden Massen haben. Leider war zur Zeit, als der große Donatische Komet am Himmel stand (im Jahre 1858), die Spektralanalyse noch nicht so weit ausgebildet, um zur Untersuchung dieser merkwürdigen Erscheinung herangezogen werden zu können; in den wenigen Jahren, in denen das Spektroskop erst der physischen Astronomie seine Dienste hat leisten können, sind es nur ganz kleine Kometen gewesen, die sich der Analyse ihres Lichtes dargeboten haben. Aus den daran angestellten Beobachtungen kann man deshalb zwar keine endgültigen Schlüsse ziehen, es ist aber doch zu konstatieren, daß das Spektrum der bisher untersuchten Kometen eine merkwürdige Ähnlichkeit mit dem Spektrum eines glühenden Kohlenwasserstoffes zeigt. —

*) Eigentümliche leuchtende Hervorragungen über den Sonnenrand von bedeutender Höhe (bis 40000 Meilen) und wechselnder Form.

Das Nordlicht, die Lichterscheinungen um die Sonne, die Corona, das Licht der Fixsterne, das Zodiakallicht, kurz alle Phänomene, welche leuchtend am Himmel auftreten, sind mit Hilfe der Spektralapparate geprüft worden, und so jung diese Forschungsmethode noch ist, so zahlreich sind schon die Aufschlüsse, die uns durch sie über das Wesen der Himmelskörper geworden sind.

Das Spektroskop hat aber die Fähigkeit, in gleicher Weise Vorgänge, die sich in ungeheuren Weiten abspielen, in ihren Ursachen uns aufzuklären, und ebenso uns die Antwort nicht schuldig zu bleiben, wenn wir es auf das Nächstliegende richten, ja geradezu uns in uns selbst auch sehen zu lassen. Es vereinigt die Eigenschaften des Mikroskops mit denen des Teleskops. Lockyer teilt in seinen Vorlesungen einen Fall mit, der dies recht augenscheinlich macht. Ein englischer Arzt spritzte die Lösung eines Lithiumsalzes, welche davon nicht mehr als $^1/_5$ g enthielt, einem Meerschweinchen unter die Haut, um die Geschwindigkeit nachzuweisen, mit welcher der tierische Körper im stande ist, gewisse Stoffe aufzunehmen und in seinem Organismus zu verbreiten. Diese Frage ist für die praktische Heilkunde gewiß von großer Bedeutung.

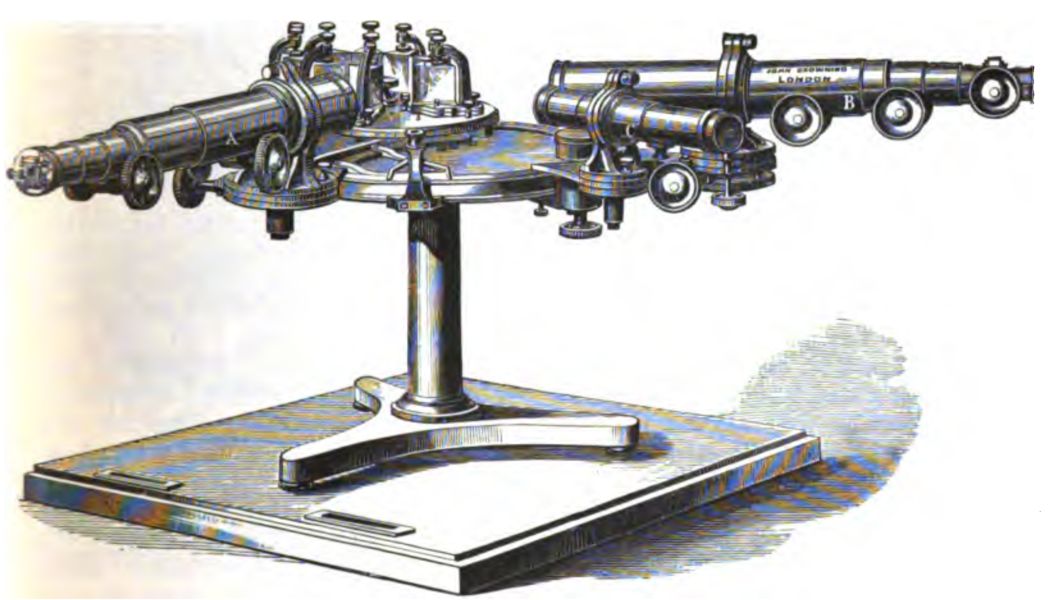


Fig. 241. Großes Spektroskop der Sternwarte zu Kiew.

Bei jenem Versuche nun ließ die eigentümliche Linie des Lithiums im Spektrum erkennen, daß der eingespritzte Stoff schon nach 4 Minuten bis an die Galle gedrungen war; nach 10 Minuten war der ganze Körper davon infiziert, selbst die Kristalllinse des Auges zeigte Spuren. Ebenso hat man im menschlichen Körper nachgewiesen, indem man Starblinden vor der Operation geringe Mengen kohlensaures Lithion eingab, daß dieses Salz nach einigen Stunden in allen Organen des Körpers und ebenfalls in der Kristalllinse des Auges anzutreffen war.

Auch die Technik hat in neuester Zeit die Spektralanalyse mit Vorteil benutzt und die Spektralapparate haben in kurzer Zeit wegen ihrer erfolgreichen, der Praxis und Wissenschaft geleisteten Dienste eine große Verbreitung gefunden. Der Rübenzuckerindustrie sind die Polarisationsapparate eine Wünschelrute, welche die Zuckerschätze mit berechenbarem Gewinn zu heben versprechen. Die Bessemer Stahlwerke produzieren heute den Stahl zu weit billigeren Preisen, weil mit Hilfe des Spektrums das ganze Verfahren genau geregelt werden kann. Da nämlich der Gußstahl, welchen man herstellt, nur einen ganz bestimmten Prozentsatz Kohlenstoffgehalt haben darf, und da es somit von ausschlaggebender Wichtigkeit sein muß, genau in dem Moment den Prozeß zu unterbrechen, wo jener Gehalt erreicht ist, so reicht

ein Versehen von wenigen Sekunden hin, um den ganzen Inhalt der Retorte — gewöhnlich hundert und mehr Zentner — zu verderben. Das Spektroskop läßt nun jenen Moment erkennen. Die bei der großen Hitze glühend aus der Retorte tretenden Dämpfe zeigen nämlich ein sich allmählich veränderndes Spektrum, welches anfänglich die hellen Linien des Kohlenstoffs aufweist, die aber immer schwächer werden, je weiter die Entkohlung des Eisens fortschreitet und in dem Augenblicke, wo der Gußstahl gar ist, verschwinden. In diesem Momente muß das Einströmen von Luft unterbrochen werden. Hier ist das Spektroskop also ein Wegweiser für das Gelingen eines Prozesses, bei dem es sich immer um beträchtliche Summen handelt, und zwar der sicherste, denn es gibt kein Hilfsmittel der Technik, welches nur annähernd gleich zuverlässig wäre.

Aber auch die Nahrungsmittelverfälschungen, dieses große Übel unsrer Zeit, haben für ihr Treiben eine scharfe Beobachtung durch das Spektroskop zu gewärtigen.

Empfehlenswert für diese und ähnliche Untersuchungen ist das Universalspektroskop von Prof. Vogel. Die Fig. 240 gibt dasselbe in natürlicher Größe an. Der Hauptvorzug des Instrumentes liegt in der Einrichtung, wodurch zwei Spektren übereinander erscheinen, das eine rührt von der Lichtquelle her, das andre ist das Absorptionsspektrum.

Janssen, der die Wasserstoffnatur der Protuberanzen entdeckte, Huggins, Miller, Secchi, Herschel, Lockyer und Thalén sind Namen, welche ruhmvoll mit der Ausbildung und den Erfolgen der Kirchhoff-Bunsenschen Spektralanalyse verknüpft sind, und wenn wir jene erwähnen, so dürfen wir derer nicht vergessen, welche durch die Vervollkommnung der mechanisch-optischen Hilfsmittel und Instrumente den Beobachtungen eine immer wachsende Schärfe und Genauigkeit gegeben, neue Apparate erdacht und dadurch neue Versuchsweisen ermöglicht haben: Steinheil, Merz und Browning.

Die Spektralanalyse legt in allen Punkten glänzendes Zeugnis ab für das menschliche Genie in glücklicher Erfassung des überaus einfachen Grundgedankens, in scharfsinniger Erfindung der elegantesten Methoden und deren Anwendung auf das unermeßliche Gebiet der Erscheinungen, in Stellung der Fragen und in Mitteln zu ihrer Beantwortung sowie endlich in dem Reichtum der erlangten Resultate.

Ob nun die durch die neue Untersuchungsmethode hervorgerufenen Theorien die einschlagenden natürlichen Erscheinungen endgültig erklärt haben oder nicht, das ist allerdings bis zu völliger Sicherheit noch nicht erwiesen und auch nicht erweisbar. Denn wie alles außer uns Liegende nur auf dem Wege der Schlußfolgerung unser Eigentum werden kann, so werden alle gewonnenen Anschauungen immer noch hypothetische bleiben. Aber die Hypothese nähert sich um so mehr der Gewißheit, je mehr sie Thatsachen umfassen kann und je weniger unter allen ihr widersprechen. Die durch die Spektralanalyse gewonnenen Anschauungen gehören aber gerade zu denjenigen, welche durch ihren mathematischen Charakter eine große Befriedigung gewähren.





— Sieht man vom Markt in die Kirche hinein,
Da ist alles dunkel und düster;
Und so sieht's auch der Herr Philister. —
Kommt aber nur einmal herein:
Begrüßt die heilige Kapelle;
Da ist's auf einmal farbig helle.

Goethe.

Die Camera obscura.

Die Welt im dunklen Zimmer. Von den Linsen. Ihre Arten und ihr Prinzip. Die Linsen- und Prismenapparate der Leuchttürme. Sphärische Abweichung. Sammellinsen. Brennpunkt. Brennweite. Linsenbilder, reelle und virtuelle. Achromatische Linsen und ihre Erfindung. Schleifen der Linsen. Das Münchener optische Institut. Die Camera obscura. Sonnenbildchen bei der Sonnenfinsternis. Laterna magica und Nebelbilder.

Kaum irgend ein andrer physikalischer Apparat dürfte eine ähnliche überraschende Wirkung auf jeden Beschauer ausüben, als es die Camera obscura thut.

Auf einer ebenen Fläche weißen Papieres sehen wir die uns umgebende Landschaft mit allem natürlichen Zauber der Perspektive, Färbung und Beleuchtung. Zwischen grünen Auen schlängelt sich ein Fluß hin. Auf seiner klaren Oberfläche spiegelt sich die Sonne; überhängendes Gebüsch oder steilere Ufer werfen dunkle Schatten, und die hell beleuchteten Gebäude an dem Gestade, die darüber gespannten Bogen der Brücke zeigen ihr wiederkehrendes Bild in dem flüssigen Elemente. Darüber hinaus erheben sich waldbewachsene Hügelketten, die sich in duftiger Ferne verlieren. Im Vordergrunde aber blicken wir in die Straßen und Plätze einer großen Stadt und über dem Ganzen schwebt der luftdurchflossene Himmel mit seinem körperlosen Blau, das den Blick in unendliche Tiefen zieht. Wenn der Zeichenstift des Malers auch die Umrisse des Bildes wiederzugeben vermag, so muß der größte Künstler daran verzweifeln, den Reiz der Farbe und des Lichtes, welcher das wunderbare Gemälde erfüllt, erreichen zu wollen. Vor allem überraschend aber ist

30*

die in dem Bilde herrschende Bewegung, durch welche wir in ein ganz neues Gebiet von Erfindungen versetzt werden. Wir sehen nicht die Natur in einem einzelnen Momente fixiert. Die weißen Wolken bleiben nicht stehen, wie sie selbst auf dem vollendetsten Kunstwerke des Malers fest stehen bleiben. Wir verfolgen sie mit unsern Augen, wenn sie an dem blauen Himmelsgewölbe vorüberziehen und mit ihrem Schatten die darunter liegende Gegend strichweise verdunkeln. Das Glitzern der Wellen zeigt uns die Bewegung des Wassers; die Wipfel der Bäume schwanken; in matt erkennbaren Wellen wogt das Ährenfeld, und wir glauben den Wind zu fühlen, der die Blätter zittern macht und das Wasser kräuselt.

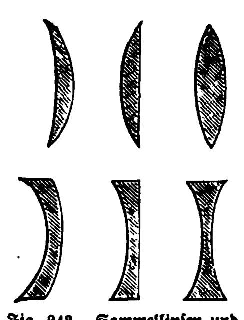


Fig. 243. Sammellinsen und Zerstreuungslinsen.

Da kommt ein Boot um die Biegung des Flusses, vorn sitzen die Ruderer und führen mit regelmäßigem Taktschlage das leichte Fahrzeug uns näher. Sie legen an. Einige von der Gesellschaft steigen ans Ufer und wandeln zwischen Hecken jenem Gartenhause zu, dessen Thür sich öffnet und wieder schließt. Und näher im Mittelpunkt der zauberischen Tischplatte entwickelt sich jetzt ein wechselreiches, buntes Leben. Die kühler werdenden Stunden des Nachmittags locken eine festlich geschmückte Menge hinaus ins Freie. Bunt gekleidete Frauen, schwarz wandelnde Männer, springende Kinder, Hunde, Wagen, Pferde — alles, was Beine hat, kribbelt mit seinem Schatten über den Plan und verschwindet um Straßenecken, taucht wieder auf, begegnet sich und grüßt sich. Man sieht miteinander sprechen — du hältst den Atem an, weil du glaubst, jeden Augenblick müsse der Schall an dein Ohr schlagen. So kann man stundenlang diesen immer wechselnden und unerschöpflichen Reizen der Betrachtung sich hingeben; und der Apparat, durch den sie hervorgebracht werden, ist so einfach, ein Zauberstab könnte nicht einfacher sein. Eine ebene Tischplatte, ein Spiegel, ein paar Linsen. — Was sind Linsen?

Richtig, wenn du erfahren sollst, auf welche Weise das reizende Bild in der Camera obscura erzeugt wird, muß ich dich zuvor mit den hauptsächlichsten Bestandteilen derselben und ihrer Wirkungsweise bekannt machen.

Die **Linsen**, d. h. die optischen Linsen, mit denen wir es hier allein zu thun haben, sind regelmäßig geschliffene Glaskörper von meist runder Gestalt, deren Oberfläche mindestens auf der einen Seite gekrümmt ist. Die verschiedenen Arten derselben sind in Fig. 243 so dargestellt worden, wie sie im Durchschnitt aussehen würden. Je nachdem die Krümmung nach außen oder nach innen zu geht, unterscheidet man zunächst konvexe und konkave Linsen; diese zerfallen, je nachdem beide Oberflächen oder nur die eine gekrümmt ist, in bikonvexe, plankonvexe, bikonkave und plankonkave Linsen. Die bikonvexen Linsen aber sind wieder unter sich verschieden. Die Krümmung kann nach beiden Seiten oder nach einer Seite gerichtet sein; im letzten Falle heißen die Gläser konvexkonkave oder auch Menisken. Die bikonvexen (oder konvergierenden) Linsen sind in der Mitte dicker als am Rande, die bikonkaven (divergierenden) Linsen dagegen in der Mitte dünner.

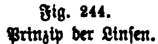


Fig. 244. Prinzip der Linsen.

Die optische Wirkung der Linsen können wir uns am besten veraugenscheinlichen, wenn wir von dem Prisma ausgehen und zu diesem Behufe die Zeichnung Fig. 244 zu Grunde legen. Denken wir uns zwei Prismen und eine kleine ebene Glasplatte so gegeneinander gestellt, wie es der obere Teil der Figur zeigt, so werden diejenigen parallel ankommenden Sonnenstrahlen, welche durch die mittelste Glasplatte hindurchgehen, ungebrochen ihren Weg fortsetzen; diejenigen aber, welche die Prismen treffen, eine Ablenkung nach der Mitte hin erfahren.

Sind die Prismen in bezug auf ihre Brechbarkeit ganz gleich, so werden die Strahlen auch durch sie eine gleiche Ablenkung erfahren und sich in denselben Punkten der

Achse, welche durch den Mittelpunkt des Systemes geht und rechtwinkelig auf der Mittelpunktsebene steht, treffen. An dieser Stelle der Achse wird ein Spektrum entstehen, welches seine Strahlen von beiden Seiten erhält und welches eine gewisse Länge haben wird, selbst wenn wir uns durch jedes der Prismen nur je ein schmales Strahlenbündel gehend denken. In diesem gemeinsamen Spektrum wird sich also die Lichtintensität aller drei Strahlenbündel vereinigen.

Denken wir uns nun aber nicht nur drei Strahlen, sondern nehmen wir an, daß neben diesen noch eine Lichtmasse von derselben Richtung her auf das System von Glaskörpern fällt, so wird jeder Strahl derselben zwar auch in gleicher Weise wie vorher gebrochen, aber wir werden ein Spektrum von ziemlich großer Länge erhalten, das nur an den Rändern gefärbt ist, in der Mitte aber, wo die verschiedenen farbigen Strahlen der einzelnen kleinsten Strahlenspektra sich übereinander legen und vermischen, werden wir gewöhnliches weißes Licht erblicken.

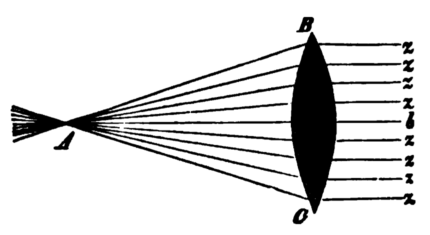
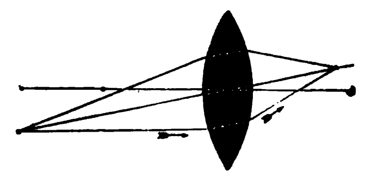


Fig. 245. Wirkung der bikonvexen Linse auf gerade auffallende Strahlen.

Es leuchtet ein, daß die Strahlen, welche nahe der Achse einfallen, diese auch am ehesten schneiden werden, und daß diejenigen, welche erst an der Spitze in das Prisma eintreten, da sie jenen ganz parallel gebrochen werden, auch die Achse um so weiter hinter dem Prisma erst schneiden werden, je höher das Prisma ist. Die Länge des Spektrums wird hierdurch bedingt. Wollte man der oberen Hälfte des Prisma einen stumpferen Winkel geben, so könnte man das Spektrum auf die Hälfte verkürzen und um das Doppelte intensiver machen, wenn man es so einrichtete, daß die äußersten Strahlen der Spitze auf denselben Punkt mit den äußersten Strahlen der unteren Prismenhälfte gebrochen würden. Und so könnte man, wenn jede Hälfte für sich immer wieder in deren zwei abstumpfte, deren Spektra sich gegenseitig nähern, die ganze durch die Prismen gebrochene Lichtmasse endlich in einem einzigen Punkte der Achse vereinigen. Freilich müßte dann streng genommen jeder Strahl für seinen besonderen Abstand von der Achse auch sein besonderes Prisma haben, und die verschiedenen Abstumpfungen derselben würden nur durch unmerkliche Winkel ineinander übergehen. Im Durchschnitt erschiene das ganze Prismensystem nicht mehr wie in Fig. 244 von geraden Linien begrenzt, es würde vielmehr eine ganz stetig verlaufende Krümmung zeigen. Dieser Fall ist in Fig. 245 dargestellt, und er versinnlicht vollständig das Prinzip der bikonvexen Linse. Denn bei derselben zeigt jede durch den Mittelpunkt gelegte senkrechte Ebene denselben Querschnitt, und die Wirkung, welche die Brechung in dem einen Durchmesser hervorbringt, wiederholt sich in allen übrigen, so daß alle Strahlen, welche wie die Strahlen z parallel auf die Linse auffallen, hinter derselben in einem Punkte A vereinigt werden müssen. Ein solche Linse, in welcher die Prismen mit ihrer Basis einander zugekehrt sind, heißt auch eine Sammellinse.

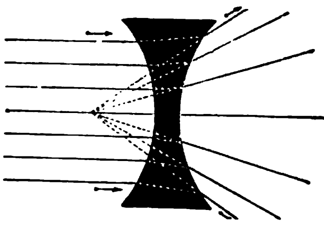

Fig. 246. Wirkung der Linse auf seitwärts auffallende Strahlen.

Eine andre, aber auf ganz analoge Art zu erklärende Wirkung üben diejenigen Linsen aus, bei welchen die Prismen einander ihre Spitzen zukehren: der Fall, welchen das untere System in Fig. 243 darstellt. Hier werden die Strahlen von der Achse abgelenkt, sie zerstreuen sich hinter der Achse, und Linsen dieser Art (konkave) heißen deshalb auch Zerstreuungslinsen. In Fig. 243 sind die drei obersten Linsen Sammellinsen, die drei untersten Zerstreuungslinsen.

Es ist leicht einzusehen, daß die Wirkung einer Linse außer von der brechenden Kraft ihres Materials auch von ihrem Durchmesser und ihrer Krümmung abhängt. Für die Art der letzteren genügt vor der Hand zu wissen, daß sie in der Praxis immer nach Kreisbogen oder vielmehr nach Kugelabschnitten ausgeführt wird.

Um uns nun mit der Theorie der Linsen im allgemeinen bekannt zu machen, genügt es einmal, die bikonvexen und dann die bikonkaven Linsen herauszugreifen und sie auf ihr Verhalten zu untersuchen. Sie können als Vertreter der übrigen Arten dienen.

Die senkrecht auf die Linse durch den Mittelpunkt gehende Achse (b in Fig. 245) heißt die Hauptachse. Der Punkt, wo bei Sammellinsen die Strahlen vereinigt werden, heißt der Brennpunkt. Der Vereinigungspunkt A, wenn die Strahlen parallel und in der Richtung der Achse b ankommen (s. Fig. 245), wird der Hauptbrennpunkt genannt, seine Entfernung von der äußeren Oberfläche der Linse heißt die Brennweite. Die Lage des Brennpunktes ändert sich nicht nur mit der brechenden Kraft der Substanz der Linsen, sondern auch mit der Konvergenz oder Divergenz der einfallenden Strahlen. Jener Punkt fällt immer weiter hinaus, je mehr die Lichtquelle sich der Linse nähert, je mehr also die Strahlen divergierend auf die Linse fallen. Wenn der leuchtende Punkt in den Hauptbrennpunkt gelangt ist, so gehen die gebrochenen Strahlen dann sämtlich in paralleler Richtung von der Linse aus weiter. Fig. 245 kann zugleich zur Erläuterung dieses Falles dienen: ebenso gut, wie sich in dem Brennpunkt A die parallel ankommenden Strahlen vereinigen, können wir uns vorstellen, gehen sie von A aus und, nachdem sie durch die Linse gebrochen worden sind, in den parallelen Richtungen b und z weiter. Und so kann man jeden Punkt als Brennpunkt und als Ausstrahlungspunkt ansehen; die Bahn der Lichtstrahlen auf der andern Seite der Linse bleibt dieselbe. Rückt die Lichtquelle der Linse noch näher als bis in den Hauptbrennpunkt, so divergieren hinter derselben ihre Strahlen.


Fig. 247. Die bikonkave Linse.

Übrigens werden auch Strahlen, welche von einem Punkte ausgehen, der nicht auf der Hauptachse liegt, durch Sammellinsen einander zugebrochen, wie es Fig. 246 darstellt. Die durchgehenden Mittellinien heißen dann Nebenachsen und der Winkel, den diese Nebenachsen, unbeschadet der Deutlichkeit des von der Linse erzeugten Bildes, noch miteinander machen können, das Feld der Linse. Bei bikonvexen Linsen aus gewöhnlichem Glase vom Brechungsexponenten $1{,}5$ liegen die Brennpunkte in den Mittelpunkten der Kreisabschnitte, welche die Oberfläche der Linse begrenzen. Für stärker brechende Substanzen liegen sie näher, für schwächer brechende entfernter.

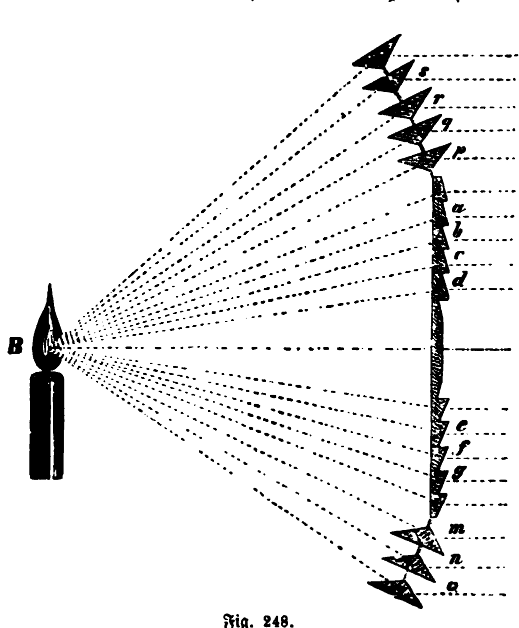


Fig. 248.
Gang der Lichtstrahlen bei dem Linsenapparat der Leuchttürme.

Hohllinsen oder Zerstreuungslinsen können nun solche Punkte, in denen sich die einfallenden Lichtstrahlen vereinigen, nicht haben. Wenn man aber die divergierenden Strahlen rückwärts über die Linse hinaus verlängert, so treffen sie auch sämtlich in einem Punkte zusammen, welchen man der Sache gemäß den Zerstreuungspunkt nennt (s. Fig. 247). Er liegt stets mit dem leuchtenden Punkte auf derselben Seite der Linse.

Eine praktisch sehr wichtige Anwendung von der lichtzerstreuenden Kraft der Linsen hat man in den Laternen der Leuchttürme gemacht, und es gibt uns Fig. 249 die äußere Ansicht eines solchen Apparates, während Fig. 248 uns schematisch den Weg zeigt, welchen die Lichtstrahlen durch die Linsen einzuschlagen gezwungen werden.

Bekanntlich kommt es bei den Leuchttürmen in erster Reihe darauf an, nicht nur ein möglichst intensives Licht hervorzubringen, sondern ein Licht, das sich sofort als das Licht eines Leuchtturmes zu erkennen gibt und das man nicht mit irgend einem andern verwechseln kann. Dieser Anforderung zu entsprechen, hat man verschiedene Methoden und Apparate in Anwendung gebracht, man ist aber allgemein der Ansicht zugewandt, daß eine periodisch sich wiederholende Unterbrechung des Lichtes in regelmäßigen Zwischenräumen, deren Folge und Dauer in ihrer Bedeutung den Seefahrern bekannt ist, das zweckmäßigste Mittel dazu ist, das kaum mißverstanden werden kann. Diese Unterbrechung ruft man dadurch hervor, daß man die ganze Lichtmenge, welche die Lampe liefert, in einzelne Partien absondert, jede derselben für sich zu einem Lichtbündel paralleler Strahlen vereinigt und dieses den zu beleuchtenden Rayon in fast horizontaler Richtung bestreichen läßt, indem man den ganzen Apparat sich mit einer gewissen Geschwindigkeit um seine Achse drehen läßt.

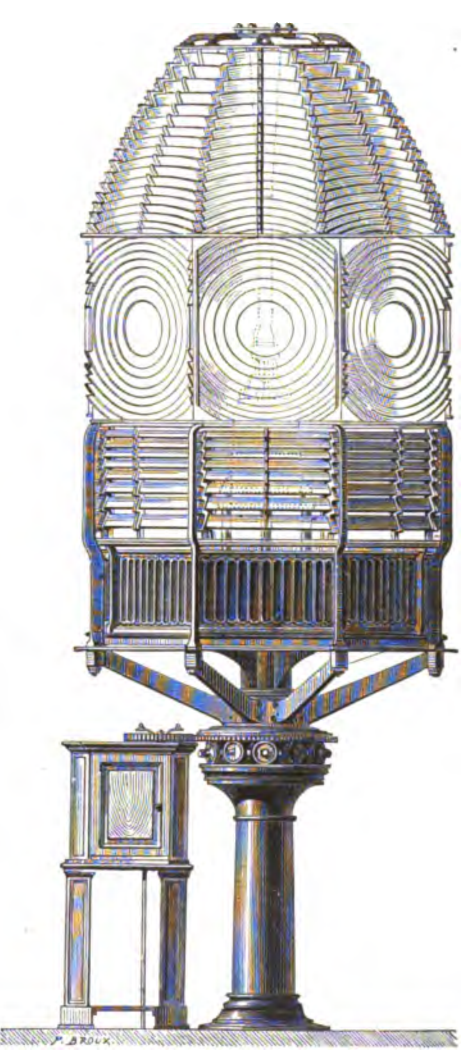


Fig. 249. Leuchtapparat mit Linsengläsern.

Die Einrichtung wird aus Fig. 249 ersichtlich. Der große, auf acht Armen ruhende Glaskörper ist die Laterne, in deren Mittelpunkt die Lichtquelle sich befindet. Diese Laterne fußt mit einem Zapfen in einem Cylinder, in welchem sie durch ein daneben befindliches Uhrwerk in Umdrehung gesetzt wird, so daß die acht einzelnen Systeme von Linsenstücken, aus denen sie besteht und von denen wir in der Abbildung drei vor uns sehen, nacheinander ihre Lichtmengen im Kreise herumführen und in einer gewissen Entfernung jeder Punkt während der Dauer einer Umdrehung achtmal das Licht von dem Leuchtturme empfängt und eben so oft dazwischen wieder in Dunkelheit gesetzt wird. Denn infolge der besonderen Einrichtung dieser Systeme, welche uns Fig. 248 deutlich macht, wird die auf jedes derselben von der Lampe fallende Lichtmenge gezwungen, parallel zur Hauptachse fortzugehen, und dadurch, daß die Strahlen sich nicht zerstreuen können, behalten sie zum großen Teile ihre Intensität; freilich aber vermögen sie auch in der weitesten Entfernung nur einen Streifen zu erhellen, der, wenn ihr Parallelismus vollkommen gewahrt blieb, nicht breiter ist als der achte Teil des Umfangs der Laterne.

In dem mittleren Teile eines solchen Sektors wird die Brechung der Strahlen, wie Fig. 249 zeigt, durch ein konzentrisches System von Linsenringen bewirkt, um die Linse in der Mitte nicht zu stark machen zu müssen, wodurch infolge der Absorption viel Licht verloren gehen würde.

In dem oberen und unteren Teile für die Strahlen m, n, o und p, q, r, s ist es weniger die Brechung als die totale Reflexion innerhalb der im Durchschnitt gezeichneten Prismen, welche die parallele Bahn der Strahlen bedingt; die Brechung wird nur insofern mit zur

Unterstützung genommen, als die Strahlen, die je in einer horizontalen Ebene liegen, in dieser auch parallel mit den übrigen fortgehen sollen. Die Prismen dürfen deshalb nicht gerade sein, sondern ihre Flächen müssen eine gewisse Krümmung erhalten, welche von der Entfernung der Lichtquelle, des Brennpunktes, bedingt ist, und die also für jede Zone eine andre sein wird.

Linsenbilder. Mit den angeführten Erscheinungen, die in gewisser Beziehung sich sehr gut mit den Erscheinungen an gekrümmten Spiegeln vergleichen lassen, können wir die Wirkungsweise nicht nur der Camera obscura, sondern der meisten optischen Apparate, vom einfachen Vergrößerungsglase an bis zu den kunstreichsten astronomischen Beobachtungsinstrumenten, uns deutlich machen. Nehmen wir an, durch die in Fig. 250 dargestellte Linse gingen von der Kerze Lichtstrahlen, so werden dieselben in der durch die Linien angedeuteten Weise in gewisser Entfernung hinter der Linse vereinigt, und zwar alle von einem Punkte ausgehenden Strahlen auch in demselben Punkte, der immer in der durch den Mittelpunkt gezogenen Nebenachse liegt. In diesen respektiven Vereinigungspunkten entsteht ein reelles Bild, welches man mit einem Schirme auffangen kann. Es ist verkehrt und je nach der Entfernung des leuchtenden Körpers von der Linse vergrößert oder verkleinert. Steht die Kerze in doppelter Brennweite, so ist das erzeugte Bild gleichgroß mit ihr und liegt ebenfalls in doppelter Brennweite; steht die Kerze näher der Linse, so ist das Bild vergrößert und liegt weiter; steht die Kerze aber weiter, so liegt das Bild näher und ist kleiner.

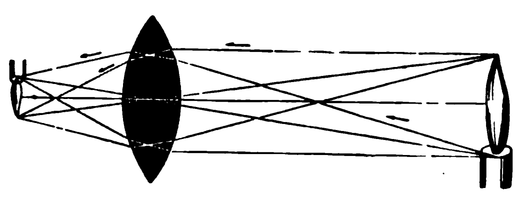


Fig. 250. Reelles verkleinertes Bild der bikonvexen Linse.

Außer diesen wirklich reellen Bildern geben aber die konvexen Linsen auch — ganz ebenso wie Hohlspiegel — virtuelle Bilder. Sie entstehen dadurch, daß die Linse die durchgehenden Strahlen konvergierender macht und das Auge daher den Gegenstand, den es in richtige Sehweite verlegt, unter einem größeren Sehwinkel zu sehen bekommt (s. Fig. 252). Bei Zerstreuungslinsen kann von reellen Bildern keine Rede sein, die virtuellen müssen verkleinert erscheinen. Es liegt nahe, nach der genauen Form zu fragen, welche der Krümmung gegeben werden muß, damit die Linsen diese Erscheinung zeigen.

Von Linsen mit Kugeloberflächen gilt es nämlich nicht in aller Strenge, daß sie die Lichtstrahlen nur in einem Punkte vereinigen, sondern je größer der Winkel wird, den die Strahlen mit der Achse machen, um so näher liegt ihr Brennpunkt der Linse selbst. Dem einzelnen Punkte, von dem Strahlen ausgehen, wird auf der andern Seite nicht ein einziger Vereinigungspunkt entsprechen, sondern eine ganze, kleine Zone, und da das für alle Punkte gilt, so wird, wenn man Linsen von starker Krümmung oder kurzer Brennweite anwendet, das Bild an Schärfe verlieren, je näher man dem Rande kommt. Diese sog. sphärische Aberration oder Abweichung durch die Kugelgestalt ließe sich durch Linsen mit andrer Krümmung umgehen, da aber deren Herstellung sehr schwierig ist, so bedient man sich lieber des Auskunftsmittels, Linsen von großer Brennweite anzuwenden und nur diejenige Mittelregion zu benutzen, auf welche die Strahlen noch unter genügend kleinem Winkel mit der Achse auffallen.

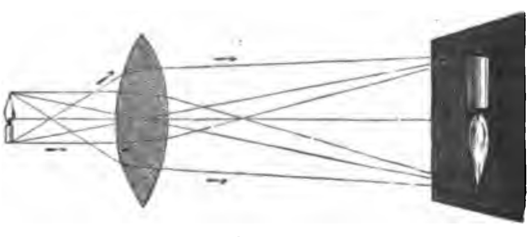


Fig. 251. Reelles vergrößertes Bild der bikonvexen Linse.

Achromatische Linsen. Das von den sichtbaren Gegenständen ausgehende Licht wird ebenso durch das Prisma in farbige Strahlen zerlegt wie das direkte Sonnenlicht. Und eine gleiche Wirkung wie das Prisma muß notwendigerweise auch eine gewöhnliche Linse ausüben. Und wirklich, wenn man eine solche in eine kleine Öffnung des Fensterladens setzt und durch sie Sonnenlicht in das verdunkelte Zimmer hindurchgehen läßt, so bildet sich auf der entgegenstehenden Wand selbst in der richtigen Brennweite nicht ein völlig

weißes Sonnenbild, sondern wir sehen dasselbe mit einem leichten Farbenrande umgeben; und wenn wir den Schirm weiter zurück rücken und den Kreis vergrößern, so zerfließt das Bild immer mehr in konzentrische, regenbogenartig gefärbte Ringe. Das kommt daher, weil der Brennpunkt der violetten Strahlen der Linse näher liegt als derjenige der roten. In den gewöhnlichen Apparaten kommt nun nicht viel darauf an, ob wir die Gegenstände mit etwas farbigen Rändern sehen oder nicht. In den feineren optischen Apparaten aber, dem Fernrohr, dem Mikroskop, den photographischen Instrumenten u. s. w., ist es von größtem Einfluß auf die Klarheit des Bildes, daß diese Abweichung soviel wie möglich verringert und die Konvergenz aller Strahlen auf einen einzigen Punkt geleitet werde.

Wenn man von der lichtbrechenden Eigenschaft durchsichtiger Körper Anwendung machen will, so scheint es auf den ersten Anblick unmöglich, Ablenkung ohne Zerstreuung zu erzeugen, und Newton selbst leugnete die Möglichkeit, „achromatische Linsen“ herzustellen, d. h. solche, welche das vergrößerte resp. verkleinerte Bild nicht mit farbigen Rändern umgeben zeigen. Der große Mathematiker Euler rief daher durch seine Behauptung, daß dies dennoch bewirkt werden könne, einen lebhaften Streit hervor, welcher erst durch Klingenstierna beendet wurde, der in der Newtonschen Beweisführung das Falsche dieser Voraussetzungen nachwies. Newton war nämlich von der Annahme ausgegangen, daß die Farbenzerstreuung, d. h. die Breite des Spektrums, in direktem Verhältnis stehe zu der Größe der Ablenkung. Dies ist aber nicht der Fall, denn es gibt gewisse durchsichtige Körper, die bei geringerer Ablenkung ein ebenso breites Spektrum erzeugen als andre bei größerer Ablenkung. Auf diese Erfahrung hin wurden nun Versuche gemacht, brechende Linsen ohne Farbenzerstreuung herzustellen, eine Aufgabe, die zunächst für die Vervollkommnung der Fernrohre von der größten Bedeutung war.

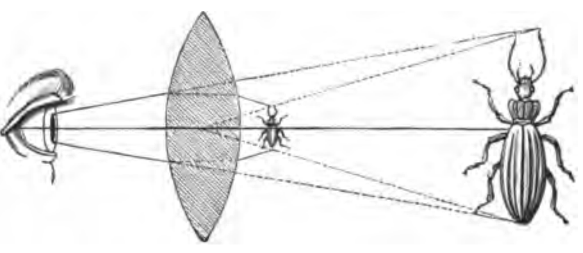


Fig. 252. Virtuelles Bild bikonvexer Linsen. Wirkungsweise der Lupe.

Es heißt, daß ein Edelmann aus der Grafschaft Essex, Chester More Hall, der sich zu seinem Vergnügen mit physikalischen Studien beschäftigte, in London zuerst das Problem gelöst und bereits 1733 achromatische Fernrohre, 1729 schon achromatische Linsen konstruiert, aber niemand eine Mitteilung über sein Verfahren gemacht habe. Er ließ sogar, um sich nicht zu verraten, die einzelnen Bestandteile seiner Linsen (dieselben werden aus zweierlei Glassorten zusammengesetzt) bei verschiedenen Glasschleifern nach Maßangaben zurichten, aber gerade dieser Umstand führte die Entdeckung herbei. Denn Dollond, der berühmte Optiker, dessen Fernrohre damals weitaus für die besten gelten durften, gab denselben Arbeitern Aufträge, und es fiel ihm beim Besuch verschiedener Werkstätten auf, daselbst geschliffene Gläser zu finden, welche gewisse Maßverhältnisse miteinander gemein hatten und die, wie die Nachforschungen ergaben, für einen und denselben Besteller angefertigt wurden. Dahinter ein Geheimnis vermutend, verglich und untersuchte Dolland die Gläser auf das genaueste und kam so hinter das Verfahren, welches den optischen Wissenschaften die größten Dienste leisten sollte. Denn es ermöglichte erst, bei Fernrohren und Mikroskopen bedeutende Vergrößerungen anzubringen und dabei doch den Bildern große Deutlichkeit zu bewahren.

Was nun an der Erzählung Wahres sein mag, und ob ein andrer eher als Dollond diese Erfindung gemacht hat, ist für uns nicht zu untersuchen. Wenn es sich aber auch selbst so verhielte, wie gesagt wird, so würde für uns Dollond, der der Welt die Erfindung nutzbringend gemacht hat, doch einer bei weitem höheren Anerkennung wert erscheinen, als jener Sonderling, der das Geheimnis für sich behielt.

Nehmen wir zwei Prismen A und B, das erstere von Kronglas mit einem brechenden Winkel von 25°, das zweite von Flintglas mit einem brechenden Winkel von etwa 12°, und untersuchen wir deren Spektra, so werden wir finden, daß dieselben zwar nicht um

gleiche Winkel abgelenkt werden, denn wenn das Kronglasprisma eine Ablenkung von ungefähr $13{,}_{65}{}^0$ hervorbringt, so lenkt das Flintglasprisma das Spektrum nur um $8{,}_{03}{}^0$ ab, daß aber trotz dieser Verschiedenheit in der brechenden Kraft die Zerstreuung der Farben in beiden Spektren gleich groß ist. Ein Spektrum ist so breit wie das andre. Und wenn wir nun die beiden Prismen in der Art, wie es Fig. 253 zeigt, miteinander so kombinieren, daß die brechenden Kanten einander entgegengesetzt sind, so werden die Strahlen des vom Prisma A gebildeten Spektrums von dem Prisma B in entgegengesetzter Richtung wieder abgelenkt, und weil das Prisma B ein ebenso breites Spektrum bilden will, die violetten mit den roten und allen dazwischen liegenden Strahlen wieder auf einen Punkt zusammengebrochen. Die verschiedenen Strahlen vereinigen sich hier, und es entsteht vollständiges Weiß. Die Farbenzerstreuung ist aufgehoben, aber — und das ist der große Gewinn — nicht die Ablenkung. Von dem durch das Prisma A bedingten Ablenkungswinkel von fast 14° hat das Prisma B nur 8° unschädlich machen können. Der Rest von 6° kommt dem Optiker, welcher achromatische Linsen herstellen will, zu gute. Man sieht leicht ein, daß man bei Linsen denselben Effekt wie bei Prismen wird hervorrufen können, wenn man eine Konvexlinse von Kronglas und eine Konkavlinse von Flintglas miteinander vereinigt, und in der That soll Hall dies Verfahren schon eingeschlagen haben. Dollond und namentlich Fraunhofer haben es jedoch auf einen hohen Grad der technischen Vollkommenheit gebracht, und es wird jetzt noch ebenso ausgeübt, wie jene es gelehrt haben. Die Verhältnisse der Krümmungshalbmesser sind nach der brechenden Kraft der Glassorten zu berechnen. Die beiden Bestandteile der Linse haben an der Oberfläche, an welcher sie aneinander gefügt werden, genau dieselbe Krümmung, so daß selbst sie, wenn kein Vereinigungsmittel dazwischen gebracht wird, sich auf allen Punkten berühren. Um sie aber aneinander zu befestigen, bringt man eine dünne Schicht kanadischen Balsams dazwischen, der vollständig durchsichtig ist und den Gang der Lichtstrahlen nicht irritiert. Wenn wir also in Zukunft bei der Besprechung neuerer optischer Instrumente von Linsen zu reden haben, so werden wir häufig, ohne dies besonders zu betonen, dergleichen achromatische Linsen, wie sie in Fig. 254 abgebildet sind, im Auge haben.

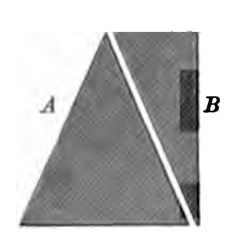
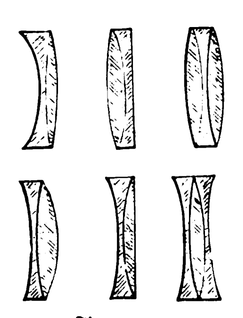


Fig. 253. Achromatische Prismen.

Schleifen der Linsen. Was die praktische Herstellung linsenförmiger Gläser anbelangt, so wollen wir noch mit wenigen Worten hier bei ihr verweilen. Über die chemische Zusammensetzung der hauptsächlichsten gebräuchlichen Glassorten erfahren wir das Nähere im IV. Bande dieses Werkes, wo von dem Glase im allgemeinen die Rede sein wird; hier mag nur die Methode, den Gläsern die richtige Krümmung zu geben, Erwähnung finden, weil dies für die optischen Zwecke die Hauptsache ist. Die Kunst, Linsen aus Glas zu schleifen, wurde zuerst in Holland in ausgedehntem Maße geübt. Über die Zeit der viel älteren Erfindung herrscht aber durchaus keine Klarheit, und wenn auch die Nachricht, daß in den Ruinen von Ninive ein antikes optisches Glas, eine plankonvexe Linse von $11{,}_{24}$ cm Brennweite, gefunden worden sei, nur mit Vorsicht aufzunehmen ist — denn es liegt durchaus nichts Analoges vor, welches voraussetzen läßt, daß die alten Assyrer mit Bewußtsein jene Kunst geübt hätten — so ist doch so viel gewiß, daß die alten Römer Linsen aus Bergkristall und Glas kannten.


Fig. 254. Achromatische Linsen.

Stärkere Linsen werden entweder im Rohen erst gegossen oder aus dicken Glasstücken herausgeschliffen; schwächere, wie sie zu Brillengläsern Verwendung finden, schneidet man aus flachen Glastafeln aus. Die weitere Vollendung erhalten sie durch Schleifen auf den sogenannten Schleifschalen, das sind für Konvexgläser wirklich vertiefte Schalen von Messing; für Konkavgläser dagegen müssen sie eine nach außen gewölbte Kuppe haben. Jede Krümmung verlangt eine besondere Schale, und diese werden so dargestellt, daß man zunächst aus Messingblech zwei Schablonen nach der Krümmung, welche die verlangte Linse

haben soll, anfertigt, von denen die eine die Krümmung nach außen, die andre nach innen erhält. Nach ihnen werden dann auf der Drehbank zwei Schalen gedreht und, nachdem sie gut ausgearbeitet sind, mit feinem Schmirgel aufeinander abgeschliffen und dadurch sowohl geglättet als justiert. Die Schale nun, welche man zum Schleifen benutzen will, befestigt man auf einer gewöhnlich zum Treten eingerichteten Handschleifmühle, welche bei der Arbeit in möglichst raschen horizontalen Umlauf versetzt wird. Das Glasstück wird auf einer Art Handhabe festgepicht, die Schale mit Schmirgel und Wasser bestrichen, die Handhabe mit geringem Druck aufgesetzt und, während die Schale umläuft, die Stellung der Linse auf derselben fortwährend geändert, wodurch sie genau die Krümmung der Schale annimmt. Je weiter die Arbeit fortschreitet, desto feinerer Schmirgel muß genommen werden. Hat die Linse auf der einen Seite die richtige Form, so wird sie gewendet und nun auf der andern Seite bearbeitet.


Fig. 255. Sonnenbilder bei freier Sonne.

Schließlich erhält sie auf derselben Schale die Politur; anstatt aber mit Schmirgel, wird zu diesem Zwecke die Schale mit einer Lage von Pech oder Kolophonium ausgekleidet, der man durch Aufdrücken der Gegenschale die richtige Form gegeben hat. Auf das Pech kommt Polierrot und die Arbeit geht in derselben Art vor sich wie das Schleifen. Obwohl das Schleifmittel vorzugsweise das Glas angreift, so erleidet doch auch das Messing eine nicht zu vernachlässigende Abnutzung, in deren Folge die späteren Linsen von den früheren immer größere Abweichungen zeigen müßten. Um dies zu vermeiden, wird von Zeit zu Zeit die Schale mit der Gegenschale eingeschmirgelt. — Lange Zeit haben die Linsen nur eine untergeordnete Verwendung gehabt, sie dienten zu Brenngläsern, Vergrößerungsgläsern, Brillengläsern und einfachen Lupen, und diesen Zwecken


Fig 256. Sonnenbilder bei partialer Sonnenfinsternis.

genügte eine ziemlich rohe Bearbeitungsweise. — Auch die ihrer bedeutenden Größen wegen merkwürdigen Linsen, welche bisweilen ausgeführt worden sind und durch welche namentlich der bekannte sächsische Edelmann Tschirnhausen sich einst großen Ruf erwarb, konnten wesentliche Fortschritte nicht hervorrufen. Tschirnhausen legte zwar auf einem seiner Güter in der Oberlausitz eine Wassermühle zum Schleifen seiner Gläser an und fertigte mit Hilfe derselben Brenngläser bis zu 1 m im Durchmesser und von einer Brennweite bis zu 4 m, aber die Linsen waren eben gut, Fische und Krebse mitten im Wasser durch Sonnenstrahlen zu sieden; einen größeren Nutzen hatten sie nicht. Die damalige Zeit sah natürlich in dem Kuriosum etwas ganz ungemein Wertvolles.

Heutzutage muß der praktische Optiker seine Aufgaben in ganz andern Punkten sehen, und die Maschinen und Vorrichtungen, welche er zur Erreichung seiner Zwecke konstruiert hat, verraten den größten Scharfsinn und die ängstlichste Genauigkeit.



Fig. 257. Camera obscura.

Die vollständige Beschreibung eines Etablissements, wie das optische Institut in München, das, von Utzschneider und Reichenbach errichtet, unter Fraunhofer und später unter Steinheil und Merz weltberühmte Instrumente geliefert hat, würde selbst ein Buch für sich bilden. Wir enthalten uns daher an dieser Stelle jedes Versuches und wenden uns vielmehr der Betrachtung jenes Apparates zu, der in optisch-theoretischer sowohl als in praktischer Beziehung einer der wichtigsten genannt zu werden verdient.

Die Camera obscura. Wer von unsern Lesern hätte, wenn er unter einem schattigen Baume saß, durch dessen Blätterlücken die Strahlen der Sonne auf die weiße Fläche eines Tischtuches oder auf den hellen Kiesboden fielen, noch nicht verwundert die Bemerkung gemacht, daß alle die einzelnen Lichtflecke eine kreisrunde Gestalt besitzen, daß sie nicht die Form der unregelmäßigen Öffnungen abbilden, sondern sämtlich unter sich gleich gebildet sind? Es sind kleine Sonnenbildchen, in ihrer Form lediglich durch die äußere Form des lichtstrahlenden Sonnenkörpers bedingt; dies wird zur Überzeugung, wenn man solche Beobachtungen zur Zeit einer Sonnenfinsternis anstellt, wo wir das Tagesgestirn nicht mehr als eine runde Scheibe, sondern in sichelförmiger Gestalt am Himmelsgewölbe erblicken. Entsprechend dieser Form sind dann auch die kleinen Sonnenbildchen auf dem Boden keine kreisrunden Flecke mehr, sondern lauter sichelartig gestaltete Lichter.

Noch viel frappanter ist der folgende leicht anzustellende Versuch. Man verdunkle ein Zimmer vollständig und bringe gegenüber dem Fensterladen, in welchem eine runde Öffnung von etwa $2\frac{1}{2}$ cm Durchmesser geschnitten worden ist, eine weiße Fläche an. Dazu kann man ein ausgespanntes weißes Tuch oder ein über einen Rahmen gespanntes weißes Papier

benutzen. Sobald die Durchbohrung des Ladens geöffnet wird, so daß durch den engen Kanal Licht einströmen kann, erscheint auf der gegenüberstehenden Wand die ganze äußere Gegend, Häuser und Bäume, Wolken und Menschen, in den natürlichen Farben und in voller Bewegung, welche sie in Wirklichkeit besitzen, aber alles verkehrt auf dem Kopfe stehend. Je kleiner die Öffnung ist, um so schärfer sind die Umrisse, um so lichtärmer ist aber auch dann das ganze Bild.

Nehmen wir zur Erläuterung dieses Falles einen einfachen Gegenstand, z. B. ein Gebäude an, von welchem Strahlen durch die enge Öffnung auf die Hinterwand des Zimmers fallen sollen, so wird aus der Betrachtung der Fig. 257 klar, warum das Dach a nach unten, die Basis b nach oben gerichtet sich abbilden muß. Je näher man den Schirm der Öffnung bringt, um so kleiner; je weiter man ihn davon entfernt, um so größer, aber auch um so schwächer beleuchtet wird das Bild.

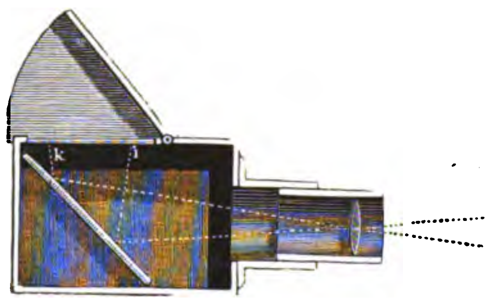
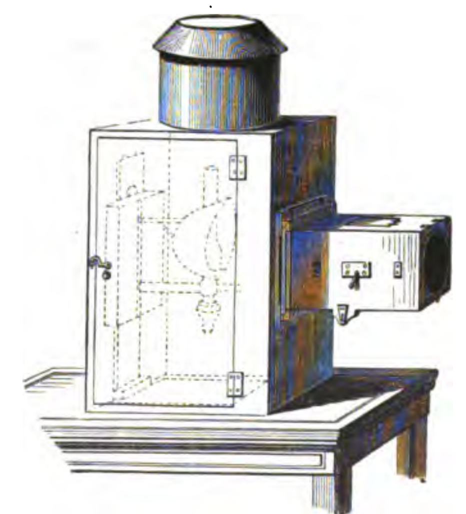


Fig. 258. Transportable Camera obscura.

Es ist dies eigentlich schon eine Camera obscura, indessen der Apparat, den wir speziell mit diesem Namen bezeichnet, unterscheidet sich durch die Zugabe von Spiegel und Linsen, wodurch einesteils das Bild in die aufrechte Stellung gebracht und andernteils in seinen Umrissen schärfer hervortretend gemacht werden kann. In einer besonders anschaulichen Form ist die Camera obscura in dem Anfangsbild dargestellt worden. Der Apparat befindet sich in einem dunklen Zimmer, damit durch Nebenlicht die Deutlichkeit des Bildes keinen Eintrag erleidet. Die Öffnung, durch welche die Lichtstrahlen von außen hereinfallen, ist bei weitem größer als in Fig. 257. Ein geeigneter Spiegel fängt das Licht auf und wirft es einer Sammellinse zu, die sich in einer verstellbaren Röhre befindet und den Zweck hat, die Strahlen zu einem reellen Bilde, welches sich auf einer weißen Fläche auffangen läßt, zu vereinigen. Ohne die sammelnde Wirkung der Linse würde bei der großen Öffnung, welche man der größeren Lichtstärke wegen nimmt, gar kein Bild zustande kommen.


Fig. 259. Laterna magica.

Eine zweite transportable Form der Camera obscura ist in Fig. 258 abgebildet. Sie bildet einen viereckigen, rundum geschlossenen, inwendig schwarz ausgeschlagenen Kasten und war früher besonders in Gebrauch zur Aufnahme von Landschaften, wozu sie sich deswegen geeignet erwies, weil man das Bild auf die Unterfläche eines geölten oder halb durchsichtigen Papiers werfen und so die deutlich durchscheinenden Konturen auf der Oberfläche leicht nachzeichnen konnte. Die innere Einrichtung ist in umgekehrter Reihenfolge getroffen, wie nach der vorigen Anordnung. Wir sehen, daß die Lichtstrahlen zuerst die Linse zu passieren haben, welche die zusammengehörigen einander zubricht, und dann erst durch den geneigten Spiegel auf die Glasplatte k i geworfen werden. Ist die letztere matt geschliffen, so erscheint auf ihr das Bild, vorausgesetzt, daß die Linse richtig eingestellt ist, was durch die Verschiebung des vorderen Rohres sich bewerkstelligen läßt. Wenn die Glasplatte ganz durchsichtig ist, so muß man das Bild mittels eines durchscheinenden Papiers auffangen. Der Deckel dient als Blende, um die seitlich einfallenden Lichtstrahlen abzuschneiden. — Die Camera obscura gehört zu den verbreitetsten optischen Instrumenten, denn jeder

der Hunderttausende von Photographen bedient sich ihrer und muß sich ihrer bedienen. Sie ist schon um die Mitte des 16. Jahrhunderts von dem Neapolitaner Porta, welcher sich mit der Untersuchung der Augen beschäftigte, erfunden worden, hat indessen ihre hauptsächlichste Vervollkommnung erst in den letzten Jahrzehnten erfahren, seit sie aus ihrer früheren Rolle eines erheiternden Spielzeugs in die bedeutendere eines praktisch ungemein nützlichen Apparates getreten ist. Die photographischen Apparate haben nicht bloß eine einzige Linse, sondern ganze Linsensysteme, um sowohl die Wirkung der Kugelabweichung als die bunten Ränder um die Bilder zu beseitigen.

Die Laterna magica oder Zauberlaterne. Dieser Apparat ist schon lange bekannt und wahrscheinlich von Athanasius Kircher um 1640 erfunden worden, obwohl manche behaupten wollen, Roger Baco habe sich schon vier Jahrhunderte früher derselben Vorrichtung bedient. Er ist in letzterer Zeit wieder dadurch öfters zur Vorführung gelangt, daß man ihn zur Hervorrufung der sogenannten Nebelbilder, Dissolving views, und zur vergrößerten Darstellung mikroskopischer Gegenstände benutzt. Apparate für den letztgenannten Zweck heißen, je nachdem die Lichtquelle eine gewöhnliche Lampe oder ein in verbrennendem Hydrooxygengas glühender Kalkkegel oder die Sonne ist, Lampen-, Hydrooxygengas- oder Sonnenmikroskope. In ihrer inneren Einrichtung unterscheiden sie sich nicht wesentlich von der Laterna magica. Dieselbe besteht ihrem äußeren Ansehen nach aus einem rundum geschlossenen Kasten mit einem vortretenden Rohr an einer Seite (s. Fig. 259). Im Innern befindet sich eine hellbrennende Lampe und hinter ihr zur Verstärkung der Beleuchtung ein Hohlspiegel, der alle Lichtstrahlen parallel nach vorn wirft. In dem Rohre stehen zwei konvexe Linsen, am besten eine plankonvexe und eine doppelt konvexe, und zwischen der hintersten Linse und der Flamme, etwas hinter dem gemeinschaftlichen Brennpunkte beider Linsen, befindet sich ein Spalt zum Einschieben von Glasplatten, auf welche die darzustellenden Gegenstände in durchsichtigen Farben gemalt sind. Die das Bild durchdringenden Lichtstrahlen werden von den Linsen gebrochen und gekreuzt.

Wenn sie auf einer Fläche aufgefangen werden, entsteht demzufolge ein verkehrtes Abbild des gemalten Bildes, und zwar, weil die gefärbten Strahlen divergierend aus dem Apparate kommen, ein um so größeres, je größer der Abstand zwischen dem Apparat und der auffangenden Fläche ist. Es geht dabei nichts andres vor, als was Fig. 251 auf Seite 240 im Schema versinnlicht. Die Glasgemälde müssen, weil man die Bilder in aufrechter Stellung braucht, umgekehrt eingeschoben werden. Die letzteren können entweder in einem dichten Rauche oder auf einer weißen Wand aufgefangen werden, welche man aus feinem weißen oder geöltem Papiere oder aus dünnem Musselin über einen Rahmen gespannt anfertigt.

Begreiflicherweise kommt bei Effekten der Zauberlaterne viel darauf an, wie gut die Darstellungen auf die Gläser gemalt sind. Die Wirkung wird noch überraschend verstärkt, wenn die außerhalb des farbigen Bildes liegenden Stellen des Glases dunkel gemacht sind, so daß das Bild auf schwarzem Grunde hell hervortritt. Weiße Bilder also, z. B. Geistererscheinungen, werden in schwarze Deckfarbe einradiert, womit die Glasplatte auf einer Seite überzogen ist.

Der berühmte Physiker und Luftschiffer Robertson gab gegen den Anfang dieses Jahrhunderts Vorstellungen von Geistererscheinungen, die alle Welt in Erstaunen setzten. Lange Zeit vermochte niemand zu ergründen, welche Mittel hierbei in Bewegung gesetzt wurden, und es dauerte eine Reihe von Jahren, ehe das Geheimnis, nicht durch Erraten, sondern durch Verrat, an den Tag kam. Es war nichts andres als die Zauberlaterne mit einigen mechanischen und theatralischen Zuthaten, von Robertson Phantaskop genannt. Man hat sich den Zuschauerraum durch eine Zwischenwand gänzlich von dem Raume getrennt zu denken, in welchem der Künstler operiert. Ein inmitten dieser Wand befindlicher Schirm von aufgespanntem Musselin ist durch Drapierungen verhüllt, die erst dann weggezogen werden, nachdem vor Beginn der Vorstellungen alles verfinstert worden.

Da aber auch hinter der Musselinwand alles andre Licht beseitigt ist, außer dem, welches aus dem Zauberkasten mit den Bildern selbst kommt, so sieht man das leichte Gewebe nicht, sondern eben nur eine Figur, die frei in der Luft zu schweben scheint, bald dem Zuschauer erschreckend nahe rückt; bald sich in weite Ferne verliert. Diese Wandlungen

nun werden ebenfalls in höchst einfacher Weise bewirkt. Je weiter der Zauberkasten von der Fläche absteht, auf welcher die Bilder sich niederschlagen, desto größer werden letztere; je näher der Kasten rückt, desto kleiner, bei der allernächsten Stellung natürlich nicht viel größer als die Öffnung des Linsenrohres. Die kleinen Bilder nimmt aber der Zuschauer auf der andern Seite für entferntere, die großen für nahestehende. Ferner hat das Rohr einen Auszug, vermöge dessen der Abstand der beiden Linsen vergrößert oder verkleinert werden kann.

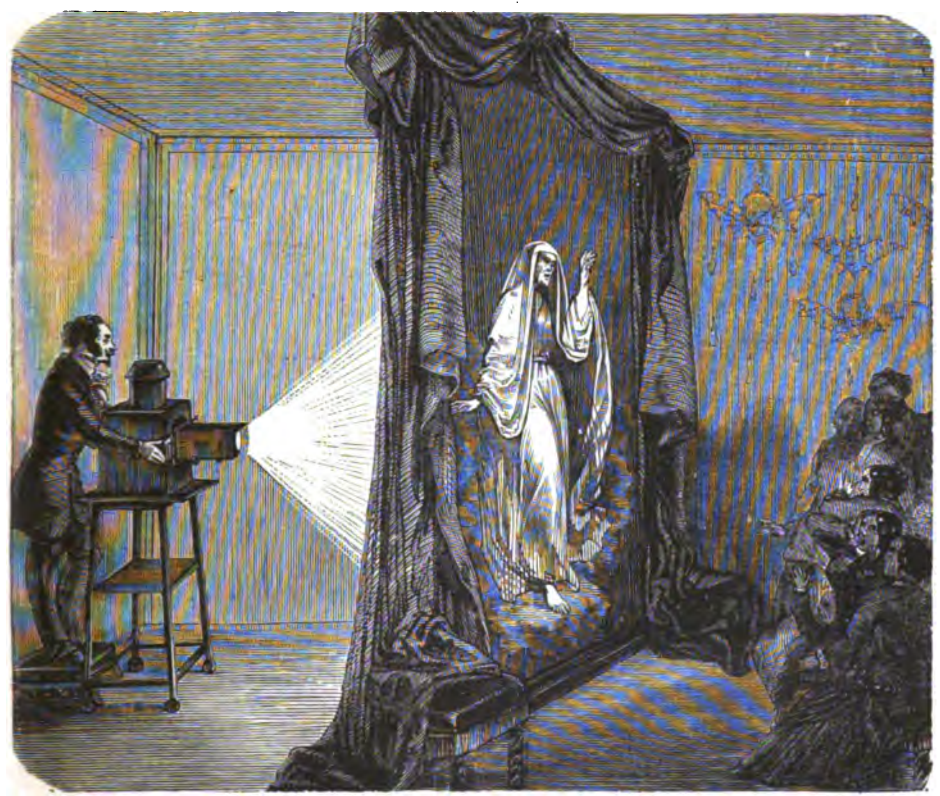


Fig. 260. Robertsons Phantaskop.

Durch die verschiedene Stellung kann man die Umrisse mehr oder weniger deutlich hervortreten lassen und der Eindruck des Sichentfernens wird dadurch, daß das Bild kleiner gemacht wird, auf diese Weise täuschender. Es bedarf nun, um die Erscheinung natürlicher zu machen, nur noch einer Vorkehrung dahin, daß die Bilder, sowie sie auf einen kleinen Raum zusammenrücken, nicht zugleich an Lichtstärke zu-, sondern vielmehr abnehmen. Dies wird ohne Schwierigkeit durch eine vor den Linsen befindliche bewegliche Blendung bewirkt, die Robertson das Katzenauge nannte und die man sich wie eine Schere mit breiten, halbmondförmigen Blättern vorstellen kann, welche zu beiden Seiten der vorderen Linse liegen und sich so über dieselbe zusammenziehen lassen, daß jeder beliebige Grad von Lichtschwächung bis zur völligen Verdunkelung leicht hergestellt werden kann. Durch geschickte Kombination dieser Mittel also, Annäherung und Entfernung des Apparates, Veränderung der Lichtstärke und Verstellung der Linsen, wurden die geisterhaften Erscheinungen hervorgebracht. Eine passende Musik, etwas künstlicher Donner, Sturm oder Regen, diente zur Verstärkung des Eindrucks. Sowohl der Künstler wie auch der Apparat gehen natürlich immer auf Socken, indem letzterer auf mit Tuch beschlagenen Rädern unhörbar von einer Stelle zur andern geschafft wird. — Die Anwendungen, welche

von der Laterna magica und den verwandten Apparaten, das Sonnenmikroskop mit eingeschlossen, gemacht worden sind, haben zum bei weitem größten Teile den Charakter gewöhnlicher Schaustellungen nicht überschritten. Zu einem wirklich nützlichen Instrument ist sie aber für die Pariser während der langen Dauer der letzten Belagerung geworden, indem es mit ihrer Hilfe allein möglich wurde, eine wenn auch immerhin noch beschränkte Korrespondenz über den „eisernen Gürtel“ der einschließenden Belagerungsheere weg zu unterhalten.

Wir wissen, daß die Beförderung von Briefen aus dem Innern der Stadt hinaus — da sie durch unsre Aufstellung hindurch nicht stattfinden konnte — über dieselbe hinweg mittels Luftballons bewerkstelligt wurde. Allein wenn es auch möglich war, einen Luftballon zu expedieren mit Aussicht auf den Erfolg, daß derselbe auf befreundetem Gebiete den Boden erreiche, wo sein Inhalt weiterbefördert werden würde, so war es doch unausführbar, auf demselben Wege von außen in das Innere von Paris Nachrichten gelangen zu lassen. Rückkehrende Brieftauben, welche man vorher per Ballon aus Paris hinausgeschafft hatte, boten dazu die einzige Gelegenheit. Dieselbe ist auch in ausgedehnter und vortrefflich organisierter Weise benutzt worden, so daß man Briefe, Depeschen, ja ganze Zeitungsblätter mit Hilfe photographischer Reduktionsapparate auf das geringst mögliche Maß verkleinerte, dieselben auf ein Blatt zusammenstellte, welches eben nicht größer sein durfte, als es in einer Federpose Raum fand, die man der heimkehrenden Taube unter den Flügeln befestigte. Und zwar bedienten die Franzosen sich gleich des photographischen Negativs für die Übersendung, wodurch sie einmal den Vorteil gewannen, eine doppelte photographische Übertragung bei der Übersetzung zu umgehen, dann aber auch sicher waren, daß jeder, welcher mit den gehörigen Apparaten zur Wiedervergrößerung nicht versehen war, die Schrift keinesfalls entziffern konnte. Denn wie vorsorglich auch von unsrer Seite immer der Krieg geführt worden ist, an derartige photographische und mikroskopische Ausrüstung hatte man doch nicht gedacht. In Paris wurden die Blätter, welche ganze Sammlungen von einzelnen Korrespondenzen enthielten, zuerst wieder photographisch vergrößert, sodann aber durch ein Lampen- oder Hydrooxygengasmikroskop auf eine helle Wand geworfen, von der die Depeschen abgelesen, abgeschrieben und an ihre speziellen Adressen befördert wurden.

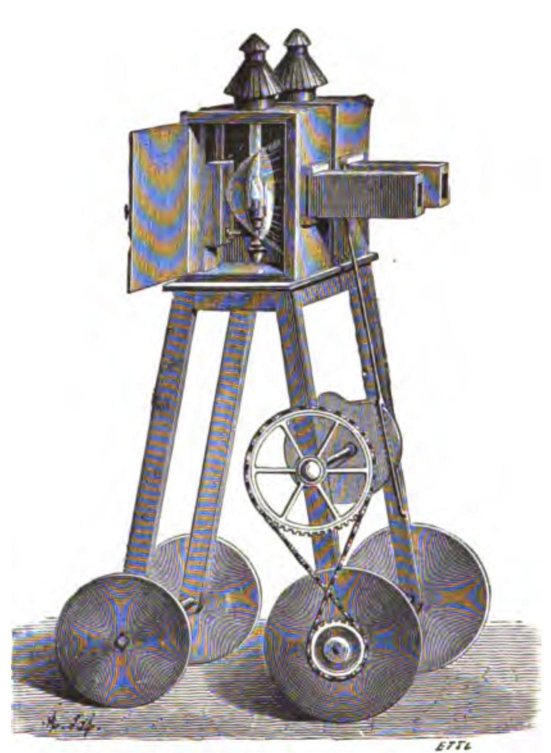


Fig. 261. Laterna magica zu Nebelbildern.

Nebelbilder. Durch diese von England zu uns gekommenen Darstellungen gewann die Zauberlaterne ein erneutes Interesse, denn kein andrer Apparat ist es, wodurch die bekannten, oft so reizenden Effekte hervorgebracht werden. Nur ist der Zauberkasten hier doppelt vorhanden und das Zwillingspaar in eine solche Stellung zu einander gebracht, daß beide mit ihren Öffnungen nach *einem* Punkte des Auffangschirmes hinsehen, daß also beide Lichtkreise dort in *einen* zusammenfallen. Schiebt man in den einen Kasten ein Glasbild, während das Licht des andern verdeckt gehalten wird, so sieht man auch nur ein einziges Bild. Dasselbe soll sich aber vor unsern Augen in ein andres verwandeln, welches in dem noch verdunkelten Kasten schon bereit steht.



Fig. 262. Reproduktion photographischer Depeschen durch die Laterna magica während der Belagerung von Paris.

Es wird dies in einfacher Weise dadurch erzielt, daß man die erste Lampe allmählich blendet und gleichzeitig in demselben Maße das Licht der andern freimacht. Hierdurch fängt das bisher sichtbar gewesene Bild an zu erblassen und undeutlicher zu werden, denn es mischen sich in seine Farben und Konturen allmählich die Umrisse des neuen Bildes, welche immer kräftiger werden und, sowie die Reste des ersten Bildes verschwinden, deutlicher hervortreten, bis das neue Bild in voller Klarheit vor uns steht. Wenn man sich keines Katzenauges bedienen kann, so ist der Lichtwechsel auch dadurch schon ganz entsprechend hervorzurufen, daß man durch Auf- oder Niederschrauben der Flamme den beiden Bildern eine verschiedene Helligkeit gibt. Die Verwandlung einer Sommerlandschaft in eine Winterlandschaft mit denselben Gebäuden, Bergen, Bäumen u. s. w. gelingt auf solche Weise fast unmerklich, und es ist im höchsten Grade überraschend, die Entwickelung eines völlig fremden Gemäldes zu sehen, dessen Übergänge wir durchaus nicht wahrzunehmen vermögen und das schon fertig vor unsern Blicken steht, ehe wir uns seiner völlig bewußt geworden sind.

Es gibt noch allerhand kleine Behelfe, um Abwechselung in derartige Vorstellungen zu bringen. So kann man mehrere Gläser hintereinander aufstellen und durch Hin- und Herziehen des einen Bewegung in die Gegend bringen, einen Eisenbahnzug hindurchgehen lassen und dergl. Schneefall z. B. wird dadurch dargestellt, daß man vor einer dritten Laterna magica einen langen, mit einer Stecknadel vielfach durchstochenen Papierstreifen mittels einer Kurbel von unten nach oben vorbeizieht.

Wundercamera. Eine sehr interessante Erweiterung hat der Optiker Krüß in Hamburg der Laterna magica gegeben und unter dem Namen Wundercamera in den Handel gebracht. Während man nämlich bei der üblichen Einrichtung der Laterna magica darauf bedacht sein muß, durchsichtige Gegenstände, also vorzugsweise Gemälde und Zeichnungen auf Glas, die durch Hervortreten ihrer Konturen und durchsichtigen Gegenstände, Bilder auf Papier, Medaillen, Blumen, das Zifferblatt einer Uhr mit seinen fortrückenden Zeigern u. s. w. vergrößert auf dem Schirm zur Erscheinung zu bringen. Er setzt die betreffenden Gegenstände in einem dunklen Kasten nur einer sehr hellen und bloß auf sie konzentrierten Beleuchtung mittels einer Lampe und eines Hohlspiegels aus und läßt die davon reflektierten intensiven Strahlen durch eine Linse gehen, welche davon auf einer entfernten weißen Wand vergrößerte Bilder erzeugt. Der Effekt, den dieser einfache Apparat hervorbringt, ist ein angenehmer, und jeder hat es in der Hand, ihn leicht auf sehr sinnreiche Weise zu vervielfältigen; die erzeugten Bilder fallen allerdings sehr schwach und verwaschen aus, wenn gewöhnliches Lampenlicht zu ihrer Hervorbringung benutzt wird. Der Leser wird sich die Schwäche der Bilder aus dem Früheren selbst erklären können, indem es sich um Lichstrahlen handelt, welche von Gegenständen ausgehen, die den größeren Teil des auf sie fallenden Lichtes verschlucken.





Die Schönheit der Welt steht groß und nah'
Vor des Menschen natürlichen Augen da;
Du brauchst nicht, um sie zu ergreifen,
Fernrohr und Kleinsehglas zu schleifen.

Rückert.

Das Auge. Panorama, Chromatrop und Stereoskop.

Das Auge ein optisches Instrument. Seine Einrichtung und Fähigkeit. Sehen mit *einem* Auge. Das Netzhautbild. Sehwinkel. Scheinbare Größe des Mondes. Perspektive. Hilfsmittel für das perspektivische Zeichnen. Panoramen und Dioramen. Geschwindigkeit der Lichtempfindung. Das Chromatrop. Subjektive Gesichtserscheinungen. Farbenharmonie. Sehen mit zwei Augen. Das Stereoskop und seine Geschichte. Wheatstone. Brewster. Spiegel- und Prismenstereoskop. Das Telestereoskop von Helmholtz.

Wir tragen fortwährend mit uns die vollkommenste Camera obscura herum, die nur gedacht werden kann. Wenn auch die Apparate der Photographen Bilder herzustellen erlauben, welche wir in ihren Einzelheiten nur mit Hilfe des Mikroskops zu betrachten im stande sind, so ist doch unser *Auge* ein noch viel feinerer Apparat. Und bei alledem und bei all den Schwierigkeiten, welche in früheren Zeiten einer richtigen Erklärung des Sehens entgegen zu stehen schienen, fallen unter Anwendung einer richtigen Methode der Untersuchung die Schleier von selbst, und wir fragen uns betroffen, ob wir mehr die Einfachheit der Ursachen und Gesetze oder das Wundervolle der Wirkungen, welche die Natur damit hervorzubringen weiß, anstaunen sollen.

Die Anstrengungen und Spekulationen vieler Jahrhunderte haben uns keinen Einblick in die Thätigkeit des Auges zu verschaffen vermocht. Solange man nicht die innere Werkstätte öffnete, mußte man im Unklaren bleiben, was darin getrieben würde. Viel eher verrät das Zifferblatt einer Turmuhr den Mechanismus des inneren Werkes, als dies das Auge

thut. Aber während jeder Lehrling in den Turm selbst hineinsteigt, um die Ursache der Zeigerbewegung zu finden, standen jahrtausendelang die Meister draußen **vor** dem Auge und meinten, glaubten, wähnten, behaupteten — so und so — aber **wußten** nichts.

Erst als das scharfe Messer der Anatomen mit rasch entschlossenem Schnitt die Hülle zertrennte und die einzelnen Teile auseinander nahm, einzeln auf ihre Fähigkeit und zusammen auf ihre Wirkung prüfte, da ward es Licht. Und einem solchen Anatomen wollen wir uns daher jetzt anvertrauen.

Er nimmt ein Ochsenauge (denn die Augen der höher organisierten Tiere sind der Hauptsache nach ganz gleich beschaffen) und macht uns zunächst auf dessen kugelige Form (**Augapfel**) aufmerksam, welche wir auch in Fig. 264 erkennen. Der Augapfel ist rings um mit einer festen Haut O P umgeben; an der vorderen Fläche H ist dieselbe durchsichtig, im übrigen ist sie trübe. An der hinteren Fläche sehen wir den durchschnittenen Sehnerv N, welcher den Lichteindruck dem Gehirn übermittelt.

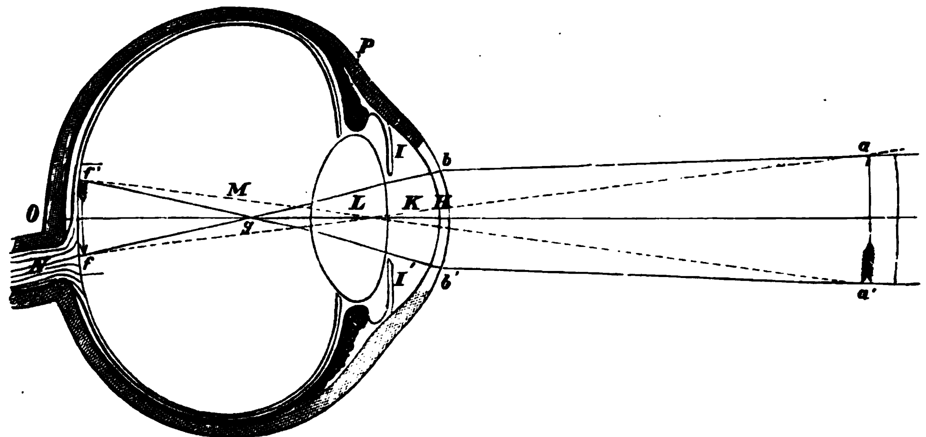


Fig. 264. Das Auge.

Bei einer allmählichen Sektion des Auges treten uns nun die folgenden inneren Teile entgegen, die in Fig. 264 im Durchschnitt dargestellt sind. Nicht weit hinter der durchsichtigen **Hornhaut** H liegt eine gefärbte Haut II', die **Iris**, nach deren Farbe man das Auge ein braunes, blaues u. s. w. nennt. In der Mitte ist sie durchbrochen und durch diese Öffnung, die **Pupille**, treten die Lichtstrahlen in die Linse L, von welcher sie gebrochen und zu einem verkleinerten Bilde auf der Hinterwand des Auges, auf der **Netzhaut** oder Retina ff', vereinigt werden. Der innere Raum M hinter der Linse ist mit einer durchsichtigen, gallertartigen Masse, der **Glasflüssigkeit**, ausgefüllt, auf dem Grunde aber mit einer schwarzen, feinaderigen Haut überzogen, die ihn zu einer wahren Camera obscura macht. Der vordere Raum K zwischen Hornhaut und Linse enthält eine klare, etwas salzige Flüssigkeit. Die Netzhaut ist weiter nichts als die äußerst feine Ausbreitung des Sehnerven.

Treten nun von aa' Lichtstrahlen ins Auge, so erleiden sie gleich vorn an der durchsichtigen Hornhaut bb' eine Ablenkung, und zwar die bedeutendste, denn die einzelnen Mittel, welche der Lichtstrahl bis zur Netzhaut passieren muß, sind unter sich in ihren Brechungsverhältnissen nur wenig verschieden. Die Linse ist gewissermaßen nur der Verfeinerungsapparat; sie bewirkt durch ein Vor- und Zurücktreten, sowie durch gewisse Änderungen in ihren Krümmungsverhältnissen, daß die Strahlen, sie mögen parallel oder mehr oder weniger konvergierend ankommen, sich bei einem normalen Auge immer auf der Netzhaut in ff' vereinigen, und ermöglicht dadurch also ein deutliches Sehen in ganz verschiedenen Entfernungen. Außerdem aber ist es wahrscheinlich ihre Aufgabe, die Bilder achromatisch zu machen.

Ist die Linse so beschaffen, daß für die aus mittlerer Sehweite kommenden Strahlen der Vereinigungspunkt oder das Bild **vor** die Netzhaut fällt, so werden diejenigen Strahlen, die aus größerer Nähe ins Auge gelangen, sich auf der Netzhaut vereinigen können und

dort scharfe Bilder geben; diejenigen dagegen von entfernteren Objekten, welche ihren Vereinigungspunkt vor der Retina haben, werden auf letzterer selbst nur undeutliche Bilder hervorbringen, weil an dieser Stelle die Strahlen schon wieder untereinander divergieren. Solche Augen nennt man kurzsichtige, die Linse hat eine zu kurze Brennweite, sie ist zu sehr gekrümmt. Durch entsprechende Zerstreuungslinsen läßt sich diesem Übelstande begegnen; daher sind auch die Brillengläser für Kurzsichtige bikonkave Linsen. Bei Fernsichtigen gilt das Umgekehrte: das deutliche Bild würde erst hinter der Netzhaut entstehen, die Strahlen müssen also durch Anwendung konvexer Gläser mehr konvergierend gemacht werden.

Sehen mit einem Auge. Die Anstrengung, die wir machen, um unser Auge für verschiedene Entfernungen einzurichten, nennen wir die Akkommodation des Auges.



Fig. 265. Verschiedenheit der scheinbaren Größe des Mondes.

Wahrscheinlich hat die dazu notwendige Muskelthätigkeit einen nicht unbedeutenden Einfluß auf unsre Vorstellung, denn wir fühlen auch, wenn wir bloß mit einem Auge sehen, deutlich, welcher Punkt von zweien der nähere und welcher der entferntere ist. Es hat jedoch die Entfernung, bis zu welcher ein Gegenstand rücken kann, um noch deutlich gesehen zu werden, ihre Grenze; Geschriebenes zum Beispiel vermögen normale Augen gewöhnlich nur in einem Abstande zwischen 20 und 45 cm klar zu erkennen. Diese Entfernung heißt die Sehweite.

Außerdem auch rufen nicht alle Punkte der Netzhaut gleichscharfe Eindrücke hervor. Wenn wir etwas genau sehen wollen, richten wir unser Auge so, daß die Strahlen in der Mittellinie (Augenachse) einfallen. Ist sonach das Sehfeld immer nur ein sehr beschränktes und können wir demzufolge ausgedehntere Bilder nicht auf einmal in allen Teilen gleichscharf unterscheiden, so hebt sich diese scheinbare Unvollkommenheit durch die außerordentliche Beweglichkeit des Auges vollständig auf, die uns gestattet, mit der größten Schnelligkeit diejenigen Punkte uns zur Anschauung zu bringen, denen wir gerade unsre Gedanken zurichten.

Das von der Linse auf der Netzhaut erzeugte Bild ist verkehrt und sehr verkleinert. Es ist oftmals Gegenstand weitläufiger Auseinandersetzungen gewesen, und selbst die Physiologen haben sich früher mit dieser Behandlung der Frage unsägliche Mühe gegeben, warum wir, obgleich das Bild auf der Netzhaut verkehrt erscheint, doch alle Gegenstände in der richtigen Stellung erblicken. Jedes Wort darüber ist unnütz. Die Seele sieht das Bild nicht von außen, wie wir es auf der Netzhaut des Ochsenauges erblicken können; sie empfängt einen allgemeinen Eindruck, den sie auf ganz eigne Weise deutet.

Die scheinbare Größe eines sichtbaren Gegenstandes richtet sich nach der Größe des Sehwinkels, das heißt desjenigen Winkels, welchen die von den äußersten Punkten nach

unserm Auge gehenden Strahlen einschließen. Mit diesem Sehwinkel kombinieren wir in Gedanken die Entfernung und können uns, bei richtiger Schätzung derselben, eine Vorstellung von der wirklichen Größe machen. Wieviel dabei auf den letzteren Umstand ankommt, beweist die immer und immer wieder auftauchende Behauptung, daß der Mond, wenn er tief am Horizont steht, größer erscheine als hoch oben am Himmel. Diese allerdings merkwürdige Täuschung hat ihren Grund nicht in einer Veränderung des Sehwinkels, denn derselbe bleibt für beide Stellungen vollkommen derselbe, sondern sie beruht höchst wahrscheinlich darauf, daß wir infolge der verschiedenen Dicke der Luftschichten am Horizont und im Zenith das Himmelsgewölbe, an welchem uns die Gestirne angeheftet erscheinen, nicht als eine Halbkugel, sondern als ein flaches Gewölbe ansehen und somit dem tiefstehenden Monde in Gedanken eine größere Entfernung zuschreiben, als dem über uns schwebenden. Fig. 265 liefert dazu den ersichtlichen Beweis.

Auf der Änderung des Sehwinkels dagegen mit zunehmender Entfernung basiert die Perspektive, deren richtige Beobachtung den durch Zeichnung dargestellten Gegenständen eine große Anschaulichkeit geben kann. Die Erkennung und Befolgung der Regeln der Perspektive setzt eine scharfe Naturbeobachtung voraus, daher treffen wir sie auch erst auf höheren Bildungsstadien der Völker. Aus dem Mittelalter noch sehen wir Gemälde und Zeichnungen, welche in bezug auf die Tiefe, das Vor- und Hintereinander der Gegenstände mit den wunderlichen chinesischen Darstellungen große Ähnlichkeit haben.

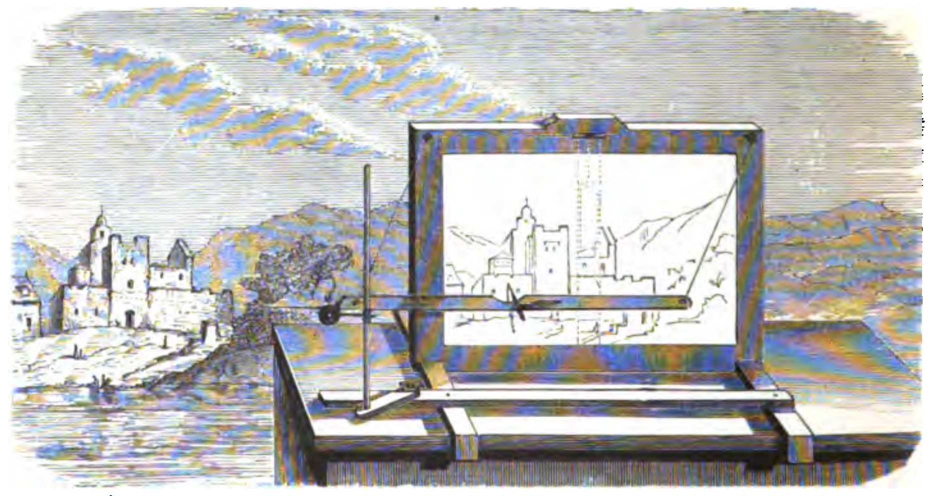


Fig. 266. Wrens Maschine zur perspektivischen Aufnahme von Landschaften.

Um Landschaften, Statuen und dergleichen im Bilde auf einer Fläche möglichst so wiederzugeben, wie sie uns erscheinen, hat man verschiedene Hilfsmittel. Am einfachsten würden wir den Zweck erreichen, wenn wir zwischen Auge und dem abzubildenden Gegenstande eine Glastafel aufrichten und auf dieser die Konturen direkt nach der Natur verzeichnen wollten. Aber jede Verrückung des Auges würde auch eine totale Verrückung des Bildes zur Folge haben. Man hat daher in der durch Fig. 266 versinnlichten Maschine dem Auge einen sicheren Stand gegeben, indem mit der Zeichenfläche ein Visier fest verbunden ist, durch dessen kleine Öffnung der Zeichner die Landschaft betrachtet. Das Bild wird nicht auf einer Glastafel, sondern gleich auf einer weißen Papierfläche entworfen. Es dient dazu ein storchschnabelähnlicher Rahmen, welcher den Bleistift trägt und an dem einen Ende mit einem Zeiger versehen ist, dessen markiertes Ende vor dem Auge des Beschauers über die Umrisse der Landschaft hingeführt wird. Dieser Zeiger ist durch eine feine Spitze in unsrer Abbildung angegeben, dicht hinter dem kleinen Visier, mit welch letzterem er nicht etwa, wie es scheinen könnte, fest vereinigt ist.

Das Panorama. Bis zu welchem Grade der Täuschung aber eine perspektivisch richtige Zeichnung uns führen kann, davon geben die Panoramen den besten Beweis. Es

sind dies Gemälde, welche eine Landschaft oder eine Szene so darstellen, daß sich der Beschauer gleichsam mitten darin befindet. Die Leinwand, auf welcher sie aufgetragen sind, ist deshalb auch gewöhnlich in einem runden Gebäude aufgespannt und umgibt den Zuschauer von allen Seiten. Auf den Standpunkt des Beschauers ist die Perspektive des Gemäldes berechnet, und weil das Gemälde auch nur von demselben Punkte aus, für welchen die Zeichnung entworfen ist, betrachtet werden kann, so ist deshalb für den Beschauer ein besonderes Podium gebaut. Von einem andern als dem berechneten Punkte aus gesehen erscheinen die Bilder verzerrt, wie es ungefähr Fig. 267 veranschaulichen kann, und auch aus dem richtigen Augenpunkte betrachtet werden sie erst dann die Täuschung hervorbringen, als ob sie nicht auf einer Fläche nach zwei, sondern nach allen drei Dimensionen des Raumes sich erstreckten, wenn man alle die Nebeneindrücke, welche jene Illusion stören müssen, beseitigt. Man kann die kleine Zeichnung, Fig. 267 z. B., ohne Verzerrung erblicken, wenn man in ein Kartenblatt ein rundes Loch, ungefähr von der Größe einer Stecknadelkuppe, schneidet und die Karte so aufstellt, daß sich die runde Öffnung in 7½ cm Höhe etwa 7½ cm vor der horizontal liegenden Abbildung befindet und dann mit dem Auge sich in geringem Abstande hinter der Karte bewegt, so daß ein Teil nach dem andern durch das Visier betrachtet wird.

In ähnlicher Weise sind nun die Gemälde der Panoramen hergestellt. Da schon Albrecht Dürer die Regeln der Perspektive in ganz exakter Weise entwickelt und begründet hat, so ist es nicht unwahrscheinlich, daß bereits vor langer Zeit kleinere gemalte Panoramen hergestellt worden sind. Breisig in Danzig soll 1763 ein Panorama gezeigt haben, indessen sind sie erst seit 1793, im großen ausgeführt, ein Gegenstand öffentlicher Schaustellung geworden. In diesem Jahre nämlich stellte Barker in London ein Panorama auf, welches die Gegend von Portsmouth und die Insel Wight darstellte. Das erste in Deutschland gezeigte war wohl das von London (1800). Von dieser Zeit an wurde die Vorliebe dafür eine allgemeinere, und namentlich haben die Pariser Panoramen, die ersten von dem Landschaftsmaler Prevost, großen Ruf erlangt. Der Name der Passage des Panoramas erinnert heute noch an den Ort der ersten Aufstellung. Vor 60 Jahren standen hier zwei Rotunden von etwa 15 m, in der Mitte mit einer runden Zuschauerbühne von etwa 6 m Durchmesser. Dies war das Prevostsche Theater. Das Publikum war entzückt von den Darstellungen und sein Beifall rief bald die Erbauung eines größeren Gebäudes hervor.



Fig. 267. Perspektivische Landschaft für das Panorama.

Nach Prevosts Tode führte der Oberst Langlois den Parisern die Hauptepisoden der kaum beendeten Feldzüge, denen er selbst beigewohnt hatte, vor Augen. Sein Panorama stand in der Rue des Marais du Temple und hatte einen fast dreimal so großen Durchmesser als das Prevostsche. Das Bild der Seeschlacht bei Navarin, die erste, welche Langlois zur Anschauung brachte, wußte er dadurch sehr täuschend zu machen, daß er der für die Zuschauer bestimmten Bühne die Form des Hinterdecks eines vollständig ausgerüsteten und mit 74 Kanonen besetzten Kriegsschiffes gab. Die das Gebäude stützende Mittelsäule war zu einem Mastbaum gemacht worden, das andre Ende des Schiffes aber nur gemalt. Die Leinwand schloß sich an das Hinterdeck und führte die Blicke gleich auf die bewegte See und die kämpfenden Schiffe über. In den letzten dreißiger Jahren baute Langlois

ein neues großes Panorama, in welchem ebenfalls die Schlachten des französischen Heeres die Hauptobjekte der Darstellung waren. Dasselbe mußte aber gelegentlich der großen Ausstellung von 1855 abgebrochen werden; jetzt besitzen die Pariser wieder Panoramen, von denen dasjenige, welches einen Blick auf die Stadt während der Belagerung vom Fort d'Issy aus darstellt, wohl bezüglich seiner perspektivischen Wirkung das vollendetste ist, das man sehen kann. Das berühmte Panorama von London wurde von Thomas Horner aufgenommen, als die Kuppel der Paulskirche repariert wurde. Es fand in einer ungeheuren Rotunde im Regentspark seine Aufstellung. Die Zuschauer sahen gleichsam aus der kleinen durchsichtigen Laterne der Kuppel von St. Paul und mußten in dem Bau herumgehen, da auf diese Weise die Ansicht nur stückweise genossen werden konnte. In Deutschland hat sich besonders der Maler Lexa durch seine Panoramen einen Namen gemacht.

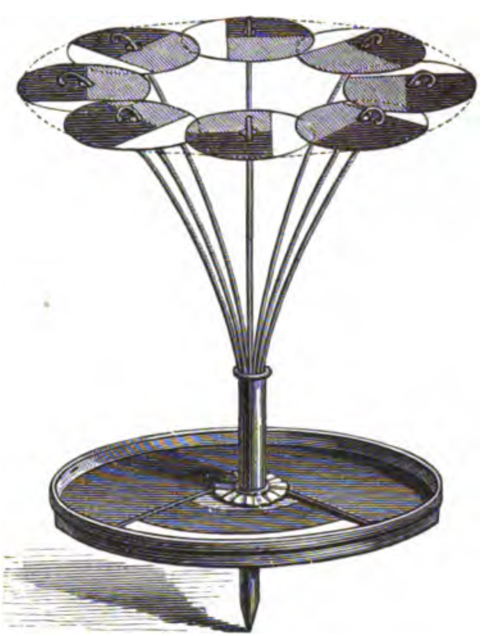
In der neuesten Zeit jedoch sind dieselben wesentlich übertroffen worden durch die großen Panoramen von Schlachten aus dem Deutsch-französischen Kriege, zu deren Ausführung sich Künstler oft ersten Ranges verbunden haben. Wer hat nicht in Berlin die Darstellung der Schlacht von Gravelotte, welche Camphausen, ferner der von Sedan, welche A. v. Werner gemalt hat, wer nicht in München den Kampf der bayrischen Truppen bei Wörth, in Dresden die Erstürmung von St. Privat bewundert? — andrer ähnlicher Schilderungen nicht zu gedenken, wie sie jetzt in andern großen Städten Deutschlands zu dauernder Aufstellung gelangt sind oder gelangen.

Während die Wirkung der Panoramen hauptsächlich auf der Perspektive beruht, ist es bei den von Daguerre, dem Erfinder der Daguerreotypie, zuerst hergestellten Dioramen die eigentümliche Beleuchtung, welche nicht minder überraschende Effekte hervorbringt. Eine große durchscheinende Seidenfläche wird auf beiden Seiten in verschiedener Weise bemalt. Auf der Vorderseite trägt sie z. B. das Bild einer sonnenbeleuchteten Landschaft, während die Rückseite für dasselbe Bild die Requisiten eines bewölkten Himmels, eines Schneegestöbers oder dergleichen enthält. Die Farben werden in bezug auf Durchscheinendheit besonders ausgewählt, und man kann, je nachdem das Licht bloß auf die Vorder- oder bloß auf die Rückseite fällt, diese beiden Effekte gesondert und rasch nacheinander zur Darstellung bringen, durch gleichzeitige Wirkung des von vorn anffallenden und des von hinten durchscheinenden Lichtes aber außerdem noch höchst frappante Abwechselungen hervorrufen.

Geschwindigkeit und Dauer des Lichteindrucks. Wir sehen nicht in demselben Augenblicke, in welchem das Licht auf die Netzhaut unsrer Augen fällt. Die Nerven brauchen eine gewisse Zeit, um sich in den Zustand hinein zu versetzen, den Eindruck zu empfangen; sie brauchen ferner Zeit, ihn weiter zu leiten bis zum Gehirn, und die Seele braucht wieder Zeit, um daraus die Vorstellung zu bilden. Natürlich sind alle diese Zeiten ungemein kurz, so kurz, daß sie der gewöhnlichen Beobachtung ganz entgehen; aber trotzdem haben die Physiker und Physiologen Methoden erfunden, um diese Gedankenschnelle auf das genaueste zu messen. Es hat sich dabei ergeben, daß, für verschiedene Menschen verschieden, von dem Einfallen des Lichtstrahles ins Auge bis zum deutlichen Bewußtsein des Gesehenen $^1/_{10}$ bis $^1/_5$ Sekunde vergeht, und daß alle astronomischen Beobachtungen streng genommen um diesen Bruchteil korrigiert werden müßten, wenn wir sie auf eine absolute Zeit beziehen wollten.

Wie das Auge nun Lichteindrücke nicht so ohne Zeitverlust aufnimmt, so läßt es dieselben auch nicht plötzlich wieder fahren. Wenn wir einen glimmenden Span in einem finsteren Zimmer um unsern Kopf schwenken, so dehnt sich der leuchtende Punkt zu einem Schweife aus, der bei genügend rascher Bewegung in einen feurigen Kreis übergeht. Der Blitz ist ein einziger Funke, er erscheint uns aber wie ein zickzackförmiges Band, weil der Eindruck noch einige Zeit nach dem Vergehen des Netzhautbildes sich erhält, das sogenannte Nachbild; und wenn wir auch die Erzählung jenes Reisenden von der Schnelligkeit amerikanischer Eisenbahnfahrten, infolge deren die Telegraphenstangen so rasch vor den Augen vorüberflogen, daß sie wie ein zusammenhängender Pfostenzaun aussahen, nicht als aus „ganz guter Quelle“ zum Beleg anführen wollen, so steht eine Menge von Beispielen ähnlicher Art zu Gebote, deren Auffindung wir aber dem Leser selbst überlassen wollen. Wir wollen nur einige derjenigen erwähnen, welche in sinnreicher Ausführung manche Faktoren mit enthalten, die die Wirkung nicht immer so ohne weiteres erklärlich erscheinen lassen.

Der Farbenkreisel ist der einfachste Apparat, um über die Nachbilder und die verlängerte Dauer des Lichteindrucks zu experimentieren. Es besteht derselbe seinem Wesen nach aus nichts weiter als aus einem massiven, etwa 15—20 cm im Durchmesser haltenden Kreisel oder Torl, den man durch rasches Abziehen eines um die Spindel gewickelten Bindfadens, wie den Brummkreisel oder Mönch, in schnelle Umdrehung versetzt (Fig. 269). Auf die obere Fläche des Kreisels kann man während der Drehung runde Papptafeln legen, die in der Mitte ein ausgeschnittenes Loch haben, mit dem sie sich über die Spindel hinwegschieben lassen. Diese Scheiben nehmen natürlich an der Umdrehung mit teil, und wenn man sie sektorenweise mit verschiedenen Farben bemalt, so wird man den raschen Wechsel der Eindrücke, den die in schneller Folge wiederkehrenden Bilder hervorbringen, als eine Mischung empfinden. Nerven und Seele sind nicht so rasch wie der Kreisel, sie können die Bilder nicht gesondert behalten, sondern werfen sie zusammen. Ist die Scheibe z. B. in Ausschnitte abwechselnd gelb und blau geteilt, so erscheint sie, in Drehung versetzt, grün; Blau und Rot gibt Violett ꝛc. Man kann nun mit diesem Kreisel noch andre Versuche anstellen, z. B. dadurch, daß man den oberen Teil der Spindel hohl macht, und während der Drehung verschiedenartig gebogene Drahtstücke einsetzt, die durch ihre Rotation den Eindruck von runden Hohlkörpern machen, wie es Fig. 270 andeutet. Dadurch, daß man einem schief stehenden Drahte eine in farbige Abschnitte geteilte Papierscheibe beigibt, wie es Fig. 268 zeigt, erhält man ganz wundervolle Farbeneffekte, lauter konzentrische Ringe, die in Farbe und Breite bei jeder Berührung wechseln und die reizendsten Kombinationen darbieten.


Fig. 268. Der Farbenkreisel.

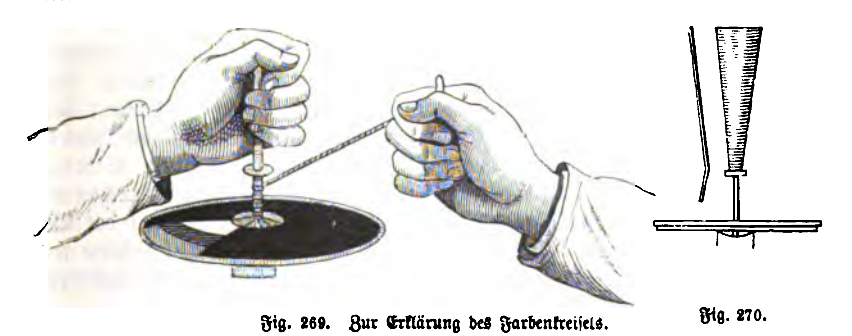

Fig. 269. Zur Erklärung des Farbenkreisels.

Fig. 270.

Der Grund dieser fast wunderbaren Erscheinung liegt ebenfalls in den in rascher Folge in das Auge gelangenden Bildern, die sich zu einem Gesamtbilde vereinigen. Die Abwechselung wird dadurch hervorgerufen, daß die Scheibe lose um den Draht sitzt, und beim geringsten Anstoß ihre Lage ändert. Da sie nur durch die Wirkung der Zentrifugalkraft an den obersten äußersten Punkt getrieben wird, so wird derjenige Punkt ihres Umfanges aus derselben Ursache nach außen zu streben, in dessen Halbmesser der Schwerpunkt der Scheibe liegt. — Denken wir uns beispielsweise die drei abgegrenzten

Felder der Scheibe auf unsrer Fig. 268, je nach dem Grade der verschiedenen Schraffierungen, gelb, rot und blau gefärbt, so muß in unserm Falle die äußerste Region blau erscheinen, um nach innen zu sehr bald in Grün überzugehen. Neben dem reinsten Grün erscheint dann — dem Zentrum immer näher — ein Orangering, der sich in reines Rot auflöst. Wie schon erwähnt, wird eine leise Berührung bewirken, daß anders gefärbte Teile der Scheibe nach außen zu liegen kommen und so ganz neue Farbenkombinationen entstehen.

Die Wunderscheibe und die Wundertrommel. Wer kennt nicht die kleinen Papierscheibchen, welche auf beiden Seiten mit verschiedenen Bildern bemalt sind, die, wenn man die Scheiben mittels eines daran befestigten Fadens in rasche Umdrehung versetzt hat, zu einem einzigen Bilde in unsrer Seele zusammenfallen, das die Bestandteile jener beiden Bilder enthält! Ein leerer Käfig auf der einen Seite, ein Vogel auf der andern läßt beim Drehen den Vogel im Käfig sitzend erscheinen — zahllose Zusammenstellungen ähnlicher Art sind in den Spielwarenhandlungen zu finden und führen den Namen Wunderscheibe oder Thaumatrop (in Paris im Jahre 1827 erfunden). Führt man in ähnlicher Art Zeichnungen aus, welche die verschiedenen Phasen eines sich bewegenden Körpers darstellen, und läßt in rascher Aufeinanderfolge diese Zeichnungen gesondert in das Auge gelangen, so wird dieses die Bewegung selbst zu sehen vermeinen, indem es die einzelnen Eindrücke zu einer ununterbrochenen Reihe verbindet, deren Anfang und Ende eine Ortsveränderung des Körpers zeigen, in welche wir denselben nach und nach gelangen sahen. Stampfer in Wien hat nach diesem Prinzip im Jahre 1832 seine stroboskopischen Scheiben konstruiert, die in der 1866 aus Amerika zu uns gekommenen Wundertrommel eine ganz besonders zweckmäßige Ausführung erhalten haben.

Dieser Apparat ist ein hohler Cylinder von Pappe, der auf einem Zapfen in einem schweren Fuße ruht und in diesem in rasche Umdrehung versetzt werden kann. Die Wandung des Cylinders in der oberen Hälfte hat eine Anzahl Durchbrechungen, durch die man in das Innere sehen kann. Der untere Teil enthält die Bilder, welche in einer Anzahl verschiedener Zeichnungen die aufeinander folgenden Phasen einer Bewegung darstellen, wie z. B. die Bewegung der Füße beim Laufen, das Werfen und Wiederauffangen eines Balles u. s. w. Von diesen Bildern sieht das Auge allemal eins, wenn bei der Drehung der Trommel ein Ausschnitt vorbeipassiert; der folgende Ausschnitt zeigt ein andres u. s. w., und aus diesen einzelnen Bildern setzt sich der überraschende Effekt zusammen, den wir alle mit großem Vergnügen schon oft beobachtet haben und immer wieder gern beobachten.

Das Chromatrop. Eines andern interessanten optischen Apparats, der sich auch auf die erwähnte Erscheinung gründet, wollen wir gedenken, weil seine blendenden Effekte dem unvorbereiteten Zuschauer durchaus keine Brücke zu den dahinter liegenden Ursachen zu bieten scheinen. Es ist dies das bekannte Chromatrop oder Linienspiel, welches gelegentlich der Betrachtung von Nebelbildern die meisten unsrer Leser wohl gesehen haben. Auf einem durchscheinenden Schirme sehen wir plötzlich ein kreisförmiges System bunter, leuchtender Linien, guillochenförmig ineinander verstrickt; in den verschiedensten hellen und bunten Farben abwechselnd verstärkt sich der Eindruck durch den eigentümlichen Kontrast. Strahlenförmig schießen sie aus dem Mittelpunkte hervor bis an die Peripherie des erleuchteten Feldes, wo sie ebenso geheimnisvoll verschwinden, wie sie sich geheimnisvoll von der Mitte aus in unerschöpflicher Menge wieder erzeugen. Und wenn wir hinter den Schirm treten und uns den Apparat erklären lassen, so überrascht uns die ungemeine Einfachheit der Mittel, mit welchen diese reizenden Effekte hervorgebracht werden.

Wir sehen nichts als eine Laterna magica, bei welcher die schieberförmig einzusetzenden Glasgemälde durch runde, drehbare Glasscheiben ersetzt sind, die ungefähr wie in Fig. 271 und 272 mit Zeichnungen versehen und bunt bemalt sind.

Zwei solcher Scheiben sind voreinander, so daß sie sich decken, wenn man hindurchsieht, auf einem mit einem kreisförmigen Ausschnitt versehenen Brettchen angebracht und werden durch kleine Friktionsröllchen an ihrer Stelle festgehalten. Durch eine Kurbel mit zwei Laufschnuren werden sie gedreht, und da von den beiden Laufschnuren die eine gekreuzt ist, die andre nicht, so laufen auch die Scheiben in entgegengesetzter Richtung um. Dadurch,

daß die durchsichtigen Scheiben auf diese Weise in ganz verschiedene Lagen zu einander kommen, entstehen die mannigfachen Kombinationen, welche mit den Bildern des Kaleidoskops Ähnlichkeit, in ihrem allmählichen Übergange ineinander aber einen großen Reiz vor diesen voraus haben. Die Laterna magica dient nur dazu, das Bild zu vergrößern und mit möglichster Helligkeit auf einer ausgespannten Fläche sichtbar zu machen. Man kann auch ohne eine solche von der Entstehung der Bilder sich eine Vorstellung machen, wenn man ein paar in entsprechender Weise gemalte oder ausgeschnittene Papierscheiben auf eine Stricknadel steckt und die Drehung mit der Hand bewirkt.

Subjektive Gesichtserscheinungen. Die Reizungen der Netzhaut brauchen nicht allemal von Lichtstrahlen auszugehen. Wir empfinden auch andre Einflüsse auf den Sehnerven, und die eigentümliche Fähigkeit desselben erregt in der Seele dann Lichtvorstellungen, denen in der Außenwelt kein Vorgang entspricht. Hat doch schon Münchhausen, als er den Flintenstein verloren hatte, sich einen Schlag ins Auge versetzt und das aus demselben springende Feuer benutzt, um sein Gewehr dadurch zum Losgehen zu bringen. Lichtblitze verschiedener Art werden im Auge nicht nur durch Druck, sondern auch durch den elektrischen Strom, durch Wärmeeinflüsse und dergleichen hervorgerufen, wie jeder leicht erfahren kann, wenn er bei geschlossenen Augen durch dieselben den Sehnerv reizt. Man nennt diese Erscheinungen *subjektive Gesichtserscheinungen.*

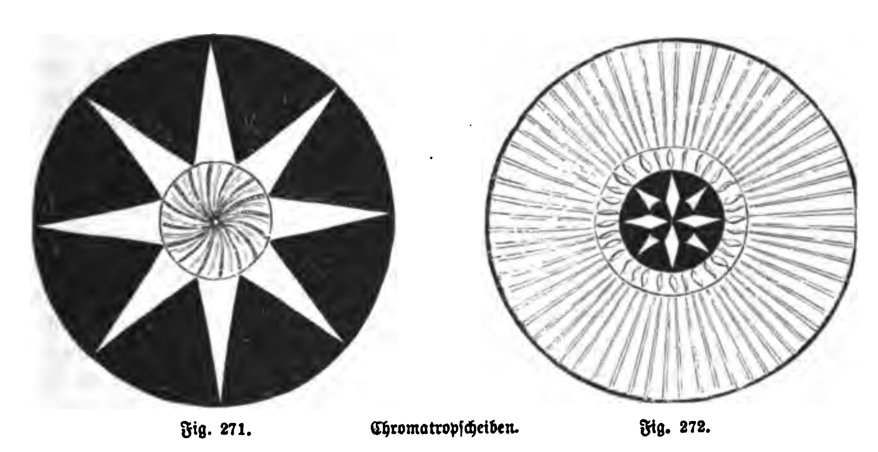


Fig. 271. Chromatropscheiben. Fig. 272.

Es bedarf wohl keiner besonderen Hervorhebung, daß bei ihnen von wirklichem Licht nicht die Rede ist und daß Erzählungen wie die, nach welcher ein in stockfinsterer Nacht von einem Räuber Angefallener seinen Angreifer deutlich erkannt habe, weil ihm dieser einen solchen Schlag ins Gesicht gegeben habe, daß ihm das Feuer aus den Augen gesprungen sei, in das Reich der Fabeln gehören. Und doch werden dergleichen Dummheiten geglaubt, so wenig sind noch klare Vorstellungen über die gewöhnlichsten natürlichen Vorgänge im Volke verbreitet. Tauchte doch vor einiger Zeit in den Zeitungen die wunderbare Neuigkeit auf, daß sich auf der Netzhaut solcher, welche mit offenem Auge eines gewaltsamen Todes gestorben wären, die letztaufgenommenen Bilder fixierten, und daß auf diese Weise die Gesichtszüge eines Mörders, im Auge des Gemordeten förmlich photographiert, deutlich erkannt worden wären. Es läßt sich kaum eine größere Ungereimtheit denken.

Zu den subjektiven Gesichtserscheinungen gehören auch, weil sie ebenfalls auf der eigentümlichen Erregungsweise des Sehnerven beruhen, gewisse interessante und praktisch bedeutungsvolle Augenstimmungen, welche nahen Bezug zu dem mit dem Namen *Farbenharmonie* bezeichneten physiologischen Zustande haben.

Wenn wir zwei ganz gleichgroße runde Stücke aus Papier, das eine von schwarzer, das andre von weißer Farbe schneiden, und das schwarze auf einen weißen Bogen, umgekehrt aber das schwarze auf einen weißen legen, so erscheinen sie von ungleicher Größe, und

zwar das weiße größer als das schwarze. Das helle Licht zieht auf unsrer Netzhaut nicht nur die direkt getroffenen, sondern auch die benachbarten Stellen in den Kreis der Erregung (Irradiation); das Feld des empfindenden Nerven wird größer als das des Bildes. Eine Bildsäule sieht kleiner aus, wenn sie aus Bronze gegossen ist, als wenn Gips oder weißer Marmor zu ihrer Herstellung verwendet worden wären. Schwarze Handschuhe machen die Hände zierlicher als weiße, und wenn eine Spitzenklöpplerin ihre Kunst zeigen will, wird sie besser thun, schwarze Fäden zu verwenden und das Gewebe auf einer weißen Unterlage auszubreiten, als umgekehrt.

Haben wir die weiße Scheibe auf dem schwarzen Bogen eine Zeitlang scharf fixiert und sehen wir dann von ihr hinweg auf eine weiße Fläche, so erblicken wir immer noch im Auge das frühere Bild, aber merkwürdigerweise jetzt als einen dunklen, kreisförmigen Fleck. Es ist ein Nachbild entstanden durch ungleiche Reizung und dadurch erfolgte zeitweilige Abstumpfung des Sehnerven. Mit der Zeit verschwindet das Bild wieder — die Nervenausgänge sind auf allen Punkten der Netzhaut wieder gleich empfänglich. Wie nun hier durch das Weiß die Nerven abgestumpft werden, so üben auch die Farben eine merkbare Wirkung; und die Beachtung derselben ist dem Maler, Kattunfabrikanten, Lackierer, Tapezierer, ja allen Künsten und Gewerben, deren Erzeugnisse gesehen werden, von dem allergrößten Vorteil. Nimmt man statt eines schwarzen ein rotes Stück Papier und betrachtet dies auf einer weißen Fläche, so sieht man nach Entfernung desselben ebenfalls ein Nachbild, welches in diesem Falle aber grün gefärbt ist; gelb erzeugt ein violettes, grün ein rotes Nachbild. Die Nerven der Netzhaut werden durch längere Einwirkung einer bestimmten Farbe abgestumpft für dieselbe und empfinden dann im weißen Lichte diejenigen Strahlen vorzugsweise, welche nach Abzug jener vom Weiß übrig bleiben, also die Komplementärfarbe.

Es ist bekannt, daß, wenn man mehrere Nüancen derselben Farbe nacheinander betrachtet, die folgenden anscheinend immer mehr an Schönheit verlieren, daß dagegen die betreffende Komplementärfarbe gewinnt, wenn das Auge sich vorher an einer Farbe satt gesehen hat. Deswegen suchen auch Zeughändler, um das Aussehen ihrer Stoffe nicht zu schädigen, einer solchen Ermüdung der Augen dadurch vorzubeugen, daß sie jene immer mit entsprechender Abwechselung der Farben in ihren Schaufenstern nebeneinander legen.

Keine Farbe ist an und für sich häßlich, denn jede kann, in der entsprechenden Weise mit anderen zusammengestellt, einen angenehmen Eindruck machen, und die gute Wirkung läßt sich unter Berücksichtigung der Reize, welche die Kontraste der Helligkeit und Farbe hervorrufen, voraus berechnen.

Sehen mit zwei Augen. Alle bisher betrachteten Erscheinungen würden wir in der angegebenen Weise auch noch wahrnehmen können, wenn wir, statt mit zweien, nur mit einem einzigen Auge wie die Cyklopen begabt wären. Anders aber ist es mit gewissen Eindrücken, welche uns die Vorstellung von der Körperlichkeit der Gegenstände verschaffen, und die wir gerade dadurch empfangen, daß wir gleichzeitig mit zwei Augen, binokular, sehen. Weil es zur Kenntnis der Gesichtsempfindungen überhaupt notwendig ist, und besonders auch, weil sich auf die Kenntnis der Vorgänge die geistreiche Erfindung eines allgemein verbreiteten und ungemein reizenden Apparates gründet, wollen wir dem interessanten Gegenstande einige Aufmerksamkeit schenken.

Auf der Netzhaut unsres Auges entsteht ein flaches Bild. Es ist natürlich, daß dasselbe ganz genau so, wie es durch ein wirkliches Gebäude, einen Baum u. s. w. hervorgerufen wird, auch durch eine Abbildung dieser körperlichen Gegenstände erzeugt werden könnte. Nur müßte die Abbildung alle Verhältnisse der Perspektive, Färbung und Beleuchtung richtig wiedergeben.

Mit einem einzigen Auge vermögen wir aber nur zwei Dimensionen, Breite und Höhe, zu unterscheiden. Wenn wir damit also einen Körper wirklich als körperlich erkennen und nicht bloß eine flache Zeichnung sehen wollen, so müssen wir das Auge in verschiedene Lagen zu demselben bringen und nach und nach von verschiedenen Seiten uns Bilder des Gegenstandes verschaffen. Sind diese Bilder von verschiedenen Seiten auch wirklich und in gewisser Weise verschieden, so kommt — das hat die Seele aus andern Erfahrungen

schließen gelernt — dem gesehenen Gegenstande die dritte Dimension zu, er ist körperlich. Betrachtet das Auge z. B. den in Fig. 273 dargestellten Würfel das eine Mal gerade von vorn, so sieht es nur die quadratische Fläche 1; dagegen werden, wenn es die Stellung von Fig. 274 einnimmt, noch zwei andre Flächen 4 und 5 mit erblickt. Aus der Kombination dieser zweiten Ansicht mit der ersten erhalten wir Belehrung darüber, daß mit der Fläche 1 noch andre zusammenhängen, die, weil sie das erste Mal nicht sichtbar waren, in einer andern Richtung als in der Höhe oder Breite liegen müssen. Wir werden auf die dritte Dimension, die Tiefe, hingewiesen und konstruieren uns in dieser zu den wenigen sichtbaren Flächen die übrigen nach Analogie hinzu.

Da uns eine große Erfahrung mit einem unendlichen Ideenschatz hilfreich zur Seite steht, so vermögen wir aus wenig Elementen uns vollständige Bilder zusammenzustellen. Wir würden also zur Not auch mit einem Auge die Außenwelt körperlich auffassen lernen; allein dieser Zustand wäre doch ein mangelhafter gegen die bestehende Einrichtung unsrer Sehorgane, welche uns in dem gleichzeitigen Gebrauch zweier Augen die Möglichkeit gibt, auf einmal und vollständig auszuführen, was mit einem Auge nur nacheinander und stückweise geschehen könnte.

Unsre beiden Augen geben uns zwei Bilder, wie Fig. 273 und 274, zu gleicher Zeit. Die Seele legt beide zu einer einzigen Vorstellung zusammen, und gerade der Reiz, welcher in der Vereinigung der zwei verschiedenen Sinneseindrücke liegt, ist die Ursache der unbeschreiblichen Empfindung, welche das Körperlichsehen charakterisiert.

Das Stereoskop. Daß es beim Körperlichsehen und dem Stereoskop auf die Vereinigung zweier Bilder ankommt, die unter sich die durch den verschiedenen Standpunkt bedingten Ungleichheiten haben, scheint keine neue Entdeckung zu sein. Brewster will gefunden haben, daß schon Euklid mit diesem Prinzip bekannt gewesen sei, und daß Galenus dasselbe bereits vor 1500 Jahren erläutert habe. Baptista Porta soll im Jahre 1599 vollständige Zeichnungen der beiden getrennten, als von beiden Augen gesehenen Gemälde, und ebenso von dem zwischen sie gestellten vereinigten Bilde gegeben haben, worin nicht nur das Prinzip des Stereoskops, sondern sogar die Hauptsache seiner Ausführung enthalten sein würde. Den Malern, welche sich, früher mehr als jetzt, mit den wissenschaftlichen Grundlagen ihrer Kunst beschäftigten, waren, wie es scheint, die Grundgesetze des Körperlichsehens ebenfalls schon lange bekannt. Denn ebensolche Zeichnungen, wie Porta entworfen hat, sollen von Jacopo da Empoli (geboren 1554, gestorben 1640) im Musée Wicar in Lille aufbewahrt werden. Je zwei von ihnen stellen denselben Gegenstand von zwei wenig verschiedenen Gesichtspunkten dar. Das auf der rechten Seite liegende Bild ist von einem mehr links gefaßten Gesichtspunkte als das auf der linken Seite, genau so, wie es verlangt wird, wenn die Bilder einen stereoskopischen Effekt hervorbringen sollen. Freilich aber kann dieser Umstand rein zufällig und nur dadurch hervorgerufen sein, daß, wie Helmholtz meint, der Maler, mit seiner ersten Arbeit nicht zufrieden, aus einem etwas veränderten Gesichtspunkte eine zweite Zeichnung entwarf.

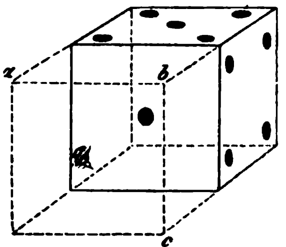
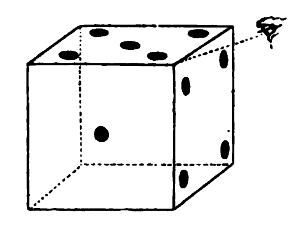



Fig. 273. Würfel von vorn betrachtet.


Fig. 274. Würfel von der Seite betrachtet.

Für die Neuzeit jedenfalls scheinen aber jene Kenntnisse, wenn sie überhaupt in dem Umfange existierten, verloren gewesen zu sein, und es ist anzunehmen, daß Wheatstone seine schöne Entdeckung ganz selbständig gemacht hat. Er entwarf zwei Zeichnungen desselben Körpers genau so, wie die Bilder auf den Netzhäuten der beiden Augen sich darstellen müßten, und erfand, um diese zwei Bilder ohne Schwierigkeiten den betreffenden Augen gleichzeitig zuzuführen, diejenige Vorrichtung, welche jetzt unter dem Namen stereoskopischer

Apparat allgemein bekannt ist und die wir in ihrer Einrichtung bald näher betrachten wollen. Vor der Hand scheint es aber des besseren Verständnisses wegen zweckmäßig, einige Vorbemerkungen zu machen.

Die beiden Augen nehmen alle Lichtstrahlen auf, welche in nicht zu großem Winkel mit der Sehachse einfallen; damit dieselben aber von der Seele zu einem Bilde vereinigt werden, müssen sie auf die sogenannten identischen Stellen der Netzhaut fallen, was nur bei denjenigen Strahlen der Fall ist, welche von dem Kreuzungspunkte der Sehachsen ausgehen. Den Sehnerv nämlich haben wir uns als einen Fasernstrang zu denken, welcher sich in zwei ganz gleiche, auf der Netzhaut endigende Äste zerteilt. Die hier symmetrisch angeordneten Faserenden gehören in dem rechten und linken Auge paarweise, wie die Finger der Hände, zusammen. Es bewirkt eine einzige Vorstellung, wenn diese symmetrischen Netzhautstellen in beiden Augen in gleicher Weise erregt werden. Dagegen bleiben die Bilder in unsrer Seele getrennt, wenn die Eindrücke nicht von identischen Punkten der Netzhaut aufgenommen worden sind. Unser Körperlichsehen besteht also darin, daß wir unsre Augen so einstellen und richten, daß die von einem Punkte kommenden Strahlen in beiden Augen jene zu einander gehörigen Stellen der Netzhaut treffen. Es ist dies streng genommen in jedem Augenblick immer auch nur für einen einzigen Punkt möglich, alle andern Punkte sehen wir doppelt; nur achten wir gewöhnlich nicht darauf, daß sich die Bilder im großen Ganzen ziemlich decken und die Undeutlichkeit alsbald verschwindet, wenn wir mit Aufmerksamkeit die doppelten Konturen ins Auge fassen wollen.

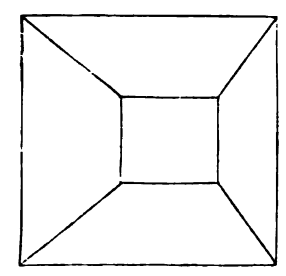
Wenn wir in gerader Linie hintereinander zwei brennende Kerzen aufstellen und bald die eine, bald die andre mit unsern Augen fixieren, so bemerken wir, daß wir nur von derjenigen Flamme, auf welche wir gerade unsre Augen richten, die sich also im Kreuzungspunkte der Sehachsen befindet, ein einziges Bild erhalten, daß dagegen die andre Flamme immer zwei Bilder hervorruft. Man kann nun neben die eine der beiden Kerzen, gleichviel ob neben die nähere oder neben die entferntere, ein zweites Licht stellen, so daß alle drei mit den Augen in gleicher Horizontalebene liegen, und erhält dann, wenn man das einzeln stehende fixiert, von den beiden andern vier Bilder. Die beiden mittelsten davon können zur Deckung gebracht werden, und zwar auf zweierlei Weise, indem man entweder die fixierte, einzelne Kerze so stellt, daß die verlängerten Sehachsen die beiden andern Kerzen treffen, oder so, daß man jene beiden Flammen in die Richtung der Sehachsen vor deren Kreuzungspunkt aufstellt.

Fig. 275.

Anstatt der beiden Kerzen können wir nun aber stereoskopisch gezeichnete Bilder vor die Augen bringen, und der Nutzen dieser Augenübung wird uns auf frappante Weise bemerkbar werden. Fig. 275 stellt den Fall dar, wo die Augen a so gerichtet sind, daß sich die Sehachsen in b kreuzen, oder daß der Punkt b von beiden Augen fixiert wird. Wird diese Augenrichtung festgehalten, so müssen zwei stereoskopisch gezeichnete Ansichten auf identische Netzhautstellen fallen und zur Deckung gebracht werden, sowohl wenn sie bei c in die Sehrichtung gebracht, als auch wenn sie in d aufgestellt werden. In jedem der beiden Fälle vereinigen sich die beiden Bilder in unsrer Vorstellung zu einem einzigen, wir sehen den dargestellten Gegenstand körperlich, und zwar als ob er sich in b befände. Der hervorgebrachte Effekt ist aber für beide Fälle ein verschiedener, denn wenn wir z. B. die beiden, von einer und derselben Pyramide genommenen Ansichten (Fig. 276) in c aufstellen, so nimmt das linke Auge das links liegende, das rechte Auge das rechts liegende Bild auf, und da dieselben genau den Ansichten entsprechen, welche wir in Wirklichkeit von einer mit der Spitze unsern Augen zugerichteten Pyramide haben würden, so rufen sie auch bei der angenommenen Art der Betrachtung den Eindruck einer erhabenen Pyramide hervor. Wenn wir dagegen in eine hohle, mit der Basis uns zugekehrte Pyramide hineinschauen, so erhält das linke Auge eine Ansicht, wie sie das rechts gezeichnete Bild darstellt, und das rechte Auge eine solche, wie das linke Bild zeigt. Daher scheint auch, wenn wir die Sehachsen vor den in d aufgestellten Bildern sich kreuzen lassen, das vereinigte Bild einer vertieften und mit der

Spitze uns abgewandten Pyramide anzugehören. Bemerkenswert ist dabei die Täuschung, welche wir in betreff der scheinbaren Tiefe erfahren. Dieselbe sieht in dem zuletzt betrachteten Falle viel bedeutender aus als vorher.

Auf diese Weise kann man nach demselben Prinzip entworfene Zeichnungen von Körpern durch geeignete Betrachtung nach Belieben zu einem erhabenen oder vertieften Bilde vereinigen. Unsre Figur 277 gibt ein andres Beispiel, dessen Betrachtung für jeden, der sich die Mühe der ungewohnten Augeneinstellung nicht verdrießen läßt, höchst lehr- und genußreich werden wird. Als ein bequemes Hilfsmittel, die Augen in der erforderlichen Weise zu richten, kann übrigens eine Stricknadel dienen, welche man in den durch Probieren leicht zu findenden Kreuzungspunkt der Sehachsen hält; man bewegt sie, indem man sie scharf fixiert, langsam auf die Zeichnung oder die Augen zu, bis die mittelsten der vier Bilder eben zur Deckung gelangen. Die Sehachsen hinter der Zeichnung erst zu kreuzen, also die Bilder bei ihrer Aufstellung in c (s. Fig. 275) zu vereinigen, ist schwieriger; indessen kann man sich dadurch helfen, daß man bei gewöhnlichen stereoskopischen Bildern sich vorstellt, als wolle man durch die in richtiger Sehweite gehaltene Zeichnung hindurch einen etwa 7—8 m entfernten Gegenstand ins Auge zu fassen suchen.



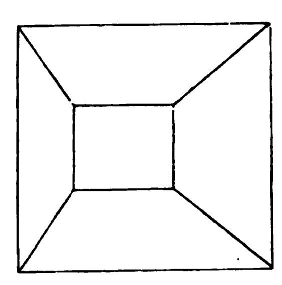


Fig. 276. Stereoskopische Bilder einer Pyramide.

In dem schon erwähnten, von Wheatstone erfundenen stereoskopischen Apparate sind alle die Schwierigkeiten, welche ein derartiges gezwungenes Sehen darbietet, umgangen, und der überraschende Effekt zeigt sich jedem, der sich der Gründe auch nicht bewußt ist.

Die Erfindung Wheatstones ist übrigens schon am 21. Juni 1838 der Königlichen Gesellschaft zu London vorgelegt worden. Der Apparat (Fig. 278) bestand aus ebenen Spiegeln A und B, von etwa 22 qcm Oberfläche, welche unter sich einen Winkel von 90° bilden. Hart vor derselben, in der Zeichnung aber nicht angegeben, befindet sich ein kleines Brettchen mit zwei Öffnungen für die Augen, die so den Spiegeln sehr genähert werden. Seitwärts davon sind zwei aufrecht stehende Latten angebracht, an denen die beiden Schieber C und D sich vor- und rückwärts bewegen lassen. Auf diesen Schiebern werden die stereoskopischen Zeichnungen befestigt; ihre Bilder erscheinen in den Spiegeln und werden in diesen von den Augen betrachtet. Da jedes Auge wegen seiner nahen Stellung zu den Spiegeln immer nur ein einziges Bild sieht, so wird es nicht leicht beirrt; außerdem aber erlaubt diese Vorrichtung viel größere Bilder zu betrachten als mit freien Augen.

Wheatstone selbst ersetzte seinen Apparat bald durch ein andres Instrument, welches in seiner bequemeren Handhabung große Vorzüge vor jenem hat. Statt der Spiegel wandte er, um die Bilder in die Augen zu werfen, Prismen an, die er mit den brechenden Kanten einander zu gerichtet hatte.

Die schematische Abbildung Fig. 279 versinnlicht dies Arrangement und seine Wirkungsweise. Von den Bildern a und b gehen die Strahlen f in die Prismen c und d, werden durch dieselben in der Richtung h gebrochen und gelangen so in die Augen, welche die Bilder als ein einziges in der Richtung h i erblicken. Die gebräuchlichste äußere Form dieses Prismenstereoskops zeigt Fig. 281.

So zweckentsprechend dieser Apparat auch war, so litt seine Herstellung doch an einer großen Schwierigkeit. Es ist nämlich schwer, zwei völlig gleiche Prismen, wie sie dazu

verlangt werden, sich zu verschaffen. Aber auch dieser Übelstand wurde gehoben, denn der schottische Physiker Brewster kam auf die geniale Idee, eine gewöhnliche Linse mitten auseinander zu schneiden und die beiden völlig symmetrischen Hälften an Stelle der Prismen einzusetzen. Er erhielt durch die sphärische Krümmung seiner Gläser noch eine vorteilhafte Vergrößerung der Bilder, welche zur Erhöhung der Täuschung wesentlich beiträgt. Trotz dieser Vervollkommnung vergingen indessen noch viele Jahre, ehe die allgemeine Aufmerksamkeit dem Stereoskop zugelenkt wurde, und wenn nicht der rasche französische Sinn Gefallen an den reizenden Wundern gefunden hätte, so wäre vielleicht heute noch das Stereoskop für das große Publikum nicht vorhanden.

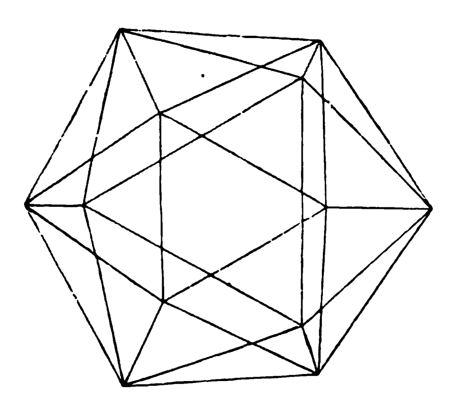
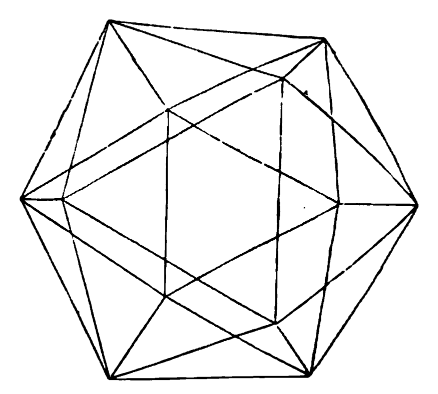



Fig. 277. Stereoskopische Bilder eines Kristallmodells.

Brewster kam im Herbst 1850 nach Paris und zeigte seinen Apparat den dortigen Naturforschern.

In Deutschland hatte schon 1844 der Professor Moser photographische Bilder für das Stereoskop angefertigt; sein Bericht darüber war in Doves „Repertorium der Physik" abgedruckt, aber natürlich dachte niemand bei uns daran, so rasch aus dem erworbenen Kapitale allgemeinen Nutzen zu ziehen. Da die Sache gedruckt und registriert war, war es ja gut.

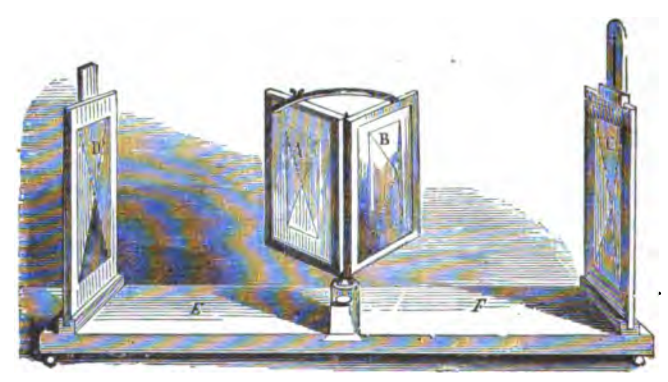


Fig. 278. Wheatstonesches Spiegelstereoskop.

In Paris ging das rascher. Der als Physiker und Mathematiker bekannte Abbé Moigno erkannte augenblicklich, welch günstige Aufnahme das Stereoskop im Publikum finden müsse. Er bestimmte Brewster, dem ausgezeichneten Optiker Duboscq die Herstellung von Stereoskopenapparaten zu übertragen und aus diesem berühmten Etablissement verbreiteten sich nun in kurzer Zeit die überall mit Entzücken aufgenommenen Apparate über alle Länder. Überall wurden sie nachgemacht. Ausstellungen stereoskopischer Bilder durchwanderten Messen und Jahrmärkte, und jetzt findet sich das Stereoskop als eines der beliebtesten Unterhaltungsmittel fast in jeder Familie. Die Linsenhälften hat man der bequemeren Faßbarkeit wegen rund geschliffen und in verschiebbaren Hülsen befestigt, welche ein Einstellen in die für jedes Auge passende Brennweite gestatten. Dadurch bekommt der

Apparat Ähnlichkeit mit einem gewöhnlichen Operngucker, der unten in einen viereckigen Kasten endigt, wie er schon bei Fig. 279 sichtbar wird. An der oberen Wand dieses länglichen Kästchens befindet sich eine Klappe, um Licht einzulassen, wenn Bilder besehen werden sollen, die auf einem undurchsichtigen Grunde stehen; die Innenfläche des Kastens ist geschwärzt, um das Licht nur von einer Seite auffallen zu lassen. Der Boden, das heißt da, wo die Bilder eingelegt werden, ist durchbrochen, weil manche Bilder auf durchscheinenden Glasplatten erzeugt werden und dann bei geschlossener Klappe gegen das Licht betrachtet werden müssen. Außerdem aber hat man Apparate ohne alle Aufstellung, bloße Linsenpaare, Rollapparate zum Zusammenklappen u. s. w., von denen wir nur die in Fig. 282 dargestellte bequeme Einrichtung vorführen. Brewster hat noch die Linsen verdoppelt, so daß er jedes Bild durch zwei Linsen ansieht und eine stärkere Vergrößerung bei geringerem Volumen gewinnt.

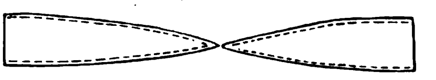


Fig. 279. Stereoskopprismen.

In den Händen der Franzosen wurde vor allen Dingen die Photographie zur Hervorbringung stereoskopischer Abbildungen herangezogen, und in der That würde ohne diese Schwesterkunst die Wheatstonesche Erfindung sich nur auf die einfachsten geometrischen Darstellungen haben beschränken müssen. Die Camera obscura dagegen zeichnet von den kompliziertesten Gegenständen mit absoluter Genauigkeit die geringsten, durch die verschiedenen Gesichtspunkte bedingten Abweichungen, und die photographische Platte fixiert die Bilder mit ihren unendlich feinen Abstufungen von Licht und Schatten, wie sie der augenblicklichen Beleuchtung entsprechen. Denn in der Darstellung körperlicher Gegenstände ist nicht nur die äußere Kontur das Wesentliche, sondern ebenso gut auch die Verteilung der Helligkeit. Glanz und Beschattung hängen gleichfalls von dem Beobachtungsorte ab, und die genaueste Berücksichtigung dieser Momente ist notwendige Bedingung eines günstigen Effekts. Vorzüglich lehren die Landschaftsbilder, in welcher Weise diese fast verschwindenden Verschiedenheiten zu dem Effekte beitragen.

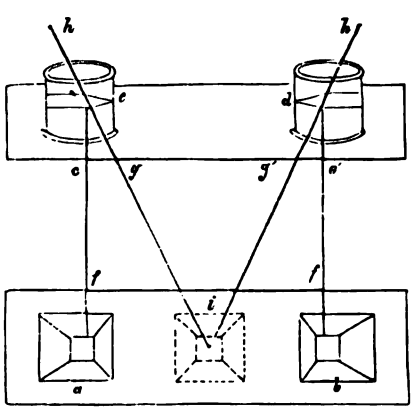


Fig. 280. Prinzip des stereoskopischen Apparates.

Wir sehen den Boden aufsteigen und sich in meilenweiter Ferne verlieren, weit in die Luft hinein locken die Gipfel hoher Berge unsern Blick, wir vergraben uns in die Schluchten, die eine fast unergründliche Tiefe verraten. Vor uns thut sich ein schroffer Abgrund auf. Wir fühlen, daß wir auf einem überhängenden Felsen stehen, und darüber hinweg hängen die Zweige einer uns beschattenden Kiefer, deren Äste wir greifbar vor unsern Augen wähnen. Noch überraschender fast sind die Ansichten, welche uns in das Innere von Gebäuden, in hohe Dome, lange Zimmerreihen oder weite, mit mancherlei Gegenständen angefüllte Räume führen. Jede Kannelierung der Säulen tritt uns hier plastisch entgegen, das Schnitzwerk wächst aus dem Getäfel heraus, und die eigentümlichen Glanzeffekte, die dadurch hervorgerufen werden, daß jedes Auge verschiedene Stellen der Körper vom hellsten Lichte widerstrahlen sieht, lassen das Material genau unterscheiden. Ein Museum von Skulpturarbeiten gibt unsern Blicken in jeder Entfernung Anhaltepunkte. Die



Fig. 281.
Wheatstonesches Prismenstereoskop.

Figuren stehen selbständig da, sie treten auf uns zu, sie sind nicht als Bilder durch eine gemeinsame Papierfläche miteinander verbunden; wirkliche, sichtbare Luft, in der die Sonnenstäubchen flimmern, umgibt sie von allen Seiten. Hier sehen wir eine antike Marmorbildsäule, woran wir die Spuren der Verwitterung mit den Fingern untersuchen wollen; dort steht eine Bronzefigur, deren glatte Oberfläche, Glanz und Farbe eben nur durch das Auge empfunden und gedeutet werden kann. Und mit eben der Vollkommenheit, mit welcher hier leblose Gegenstände sich darstellen, lassen sich stereoskopische Abbildungen von Personen, Porträts u. s. w. aufnehmen.

Die Empfindlichkeit der photographischen Präparate ist so weit gesteigert worden, daß wir den belebtesten Marktplatz in einem einzigen Moment fixiert, den fliegenden Vogel, das wellenbewegte Meer im Stereoskop sehen können.

So gering nun auch selbst einer genauen Untersuchung die perspektivischen Abweichungen der beiden Bilder erscheinen, so sind sie doch — zumal bei Landschaften — größer, als sie der Entfernung unsrer Augen entsprechen würden. Die photographischen Apparate werden bei ihrer Aufnahme in größerem Abstande, als unsre Augenweite beträgt, voneinander aufgestellt. Dadurch macht denn auch das stereoskopische Bild den Eindruck, als ob wir es mit einem um soviel größeren Winkel der Sehachsen betrachteten, als ob ein verkleinertes Modell von uns aus größerer Nähe gesehen würde. Das Stereoskop überwirklicht die Wirklichkeit, und so effektvoll auch die hintereinander liegenden Partien auf diese Weise voneinander losgelöst werden, so darf doch, wenn der Natürlichkeit nicht Eintrag geschehen soll, eine gewisse Grenze damit nicht überschritten werden. In den Kunsthandlungen findet man stereoskopische Abbildungen des Mondes, dessen Entfernung doch so groß ist, daß ihr gegenüber eine Aufnahme von zwei verschiedenen Standpunkten auf der Erde diejenigen Ansichten nicht geben könnte, welche zur Hervorbringung eines stereoskopischen Effektes erforderlich sind. Außerdem auch ist der Mond von solchen Dimensionen, daß wir mit unserm Sehapparat ihn nie in seiner Totalität umfassen und uns mit unsern körperlichen Augen direkt nur verhältnismäßig sehr kleine Teile von ihm zum Bilde bringen könnten. Nichtsdestoweniger erscheinen diese Mondstereoskopen vollständig körperlich; der Mond tritt uns als Kugel gegenüber, ja bisweilen ist das Relief so bedeutend, daß er wie ein Ei mit der Spitze uns zugekehrt erscheint. Wie ist dieser Effekt erreicht? Nicht anders als mit Zuhilfenahme der eigentümlichen scheinbaren Schwankung um seine Mittelachse (Libration), die der Mond besitzt, und infolge deren er der Erde nicht immer dieselbe Scheibe bloß zukehrt, sondern abwechselnd von der einen und der andern Seite ihr einige Längengrade mehr von rechts und links zuwendet. Für die Herstellung stereoskopischer Bilder aber bleibt es sich völlig gleich, ob der Aufnahmestandpunkt verändert wird oder ob der Gegenstand eine Drehung erfährt, die für den Punkt der Aufnahme jetzt eine veränderte Ansicht gewährt. Und bei dem Monde hat man davon insofern Anwendung gemacht, als man die beiden photographischen Bilder nicht gleichzeitig nahm, sondern das eine, wenn er mehr von seiner linken Seite zeigte, das andre dagegen erst nach Verlauf einiger Zeit, wenn er inzwischen wieder durch seine Mittellage hindurchgegangen war und einen entsprechend größeren Teil seiner rechten Hälfte hervorkehrte. Je weiter die Aufnahmen auseinander

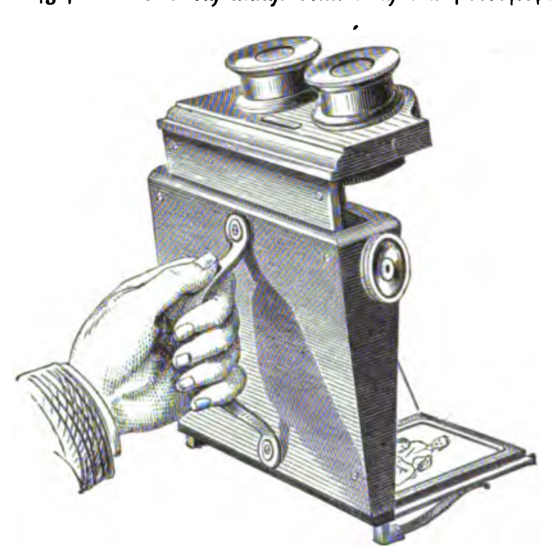


Fig. 282. Stereoskopischer Apparat zum Zusammenklappen.

liegen, um so größer wird die Verschiedenheit der Bilder, um so hervortretender das Relief, das sie im stereoskopischen Apparate zeigen, ausfallen.

Das Telestereoskop. Ein fernes Gebirge vermögen wir, wenn wir es zuerst erblicken, nur schwierig in seine Tiefenverhältnisse aufzulösen. Hier stehen ebenfalls die Augen zu nahe, als daß die beiden Bilder merklich verschiedene Seiten zeigen könnten, und die fernen Bergzüge erscheinen von geringer Plastik, fast nur von einem kulissenartigen Ansehen. Durch das von Helmholtz erfundene Telestereoskop aber werden unsre Augen gewissermaßen um mehrere Ellen voneinander entfernt, so daß die Bilder, welche sie aufnehmen, die gesehenen Gegenstände in einem größeren Winkel umspannen. Die Auflösung der Tiefenverhältnisse wird dadurch, wie bei den photographischen Stereoskopbildern, eine viel entschiedenere.

Die Einrichtung des Telestereoskops ist sehr einfach und läßt sich an dem Wheatstoneschen Spiegelstereoskop (Fig. 278) beschreiben. Der Apparat ist aber direkt zur Betrachtung der Landschaft eingerichtet; die Bilder werden daher auch von ihm selbst aufgenommen, und zwar geschieht das durch zwei Spiegel, welche an Stelle der beiden Schieber c und d angebracht und so gegen außen gerichtet sind, daß sie miteinander einen Winkel von 90° machen, also den beiden kleinen Beobachtungsspiegeln a und b parallel gerichtet sind. Die beiden Spiegelbilder der Landschaft werden nun um so größere perspektivische Abweichung haben, je weiter die Spiegel voneinander abstehen, und mit der Entfernung müssen daher die Tiefendimensionen um so deutlicher hervortreten. Anstatt der Beobachtungsspiegel befinden sich bei a und b zwei Prismen, deren totale Reflexion die Spiegelbilder ungeschwächter zurückgibt, sie sind wie die Linsen in dem Brewsterschen Apparat in Hülsen gefaßt, so daß jedes Auge ohne Anstrengung das ihm zukommende Bild betrachten kann.

Schließlich wollen wir noch auf eine praktische Verwendbarkeit des Stereoskops aufmerksam machen, welche von Dove hervorgehoben worden ist und die in ihren interessanten Effekten zu prüfen unsern Lesern Vergnügen bereiten wird.

Tröste dich, wenn edlen Gaben Nicht des Volkes Jubel glückt. Was der Weise sieht erhaben, Ist der Menge oft verrückt.	Tröste dich, wenn edlen Gaben Nicht des Volkes Jubel glückt. Was der Weise sieht erhaben, Ist der Menge oft verrückt.

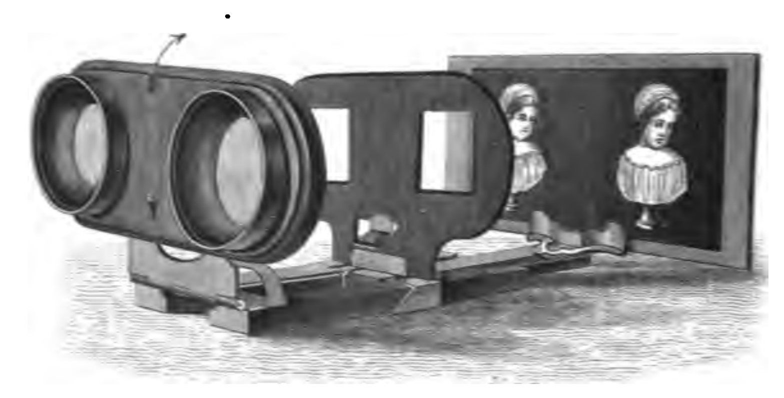
Fig. 283.

Bringt man zwei ganz gleiche Zeichnungen, etwa zwei echte Kassenscheine einer und derselben Art, in einen stereoskopischen Apparat oder betrachtet dieselben mit freien Augen so, daß die beiden Bilder sich zu einem einzigen vereinigen, so wird man, trotzdem daß die Augen zwei Bilder sehen, doch nur den Eindruck einer planen Zeichnung haben, aber keine Tiefe bemerken. Sind aber die beiden Kassenscheine nicht von derselben Platte, oder ist die Schrift von einem andern Satz, so wird die Übereinstimmung nie eine vollkommene sein, denn selbst bei der größten Genauigkeit der Setzer werden die Zeilen und Buchstaben gegeneinander nicht dieselbe Lage haben. Im Stereoskop tritt dies deutlich hervor, denn in dem vereinigten Bilde zeigen sich die verschobenen Worte nicht mehr in einer Ebene

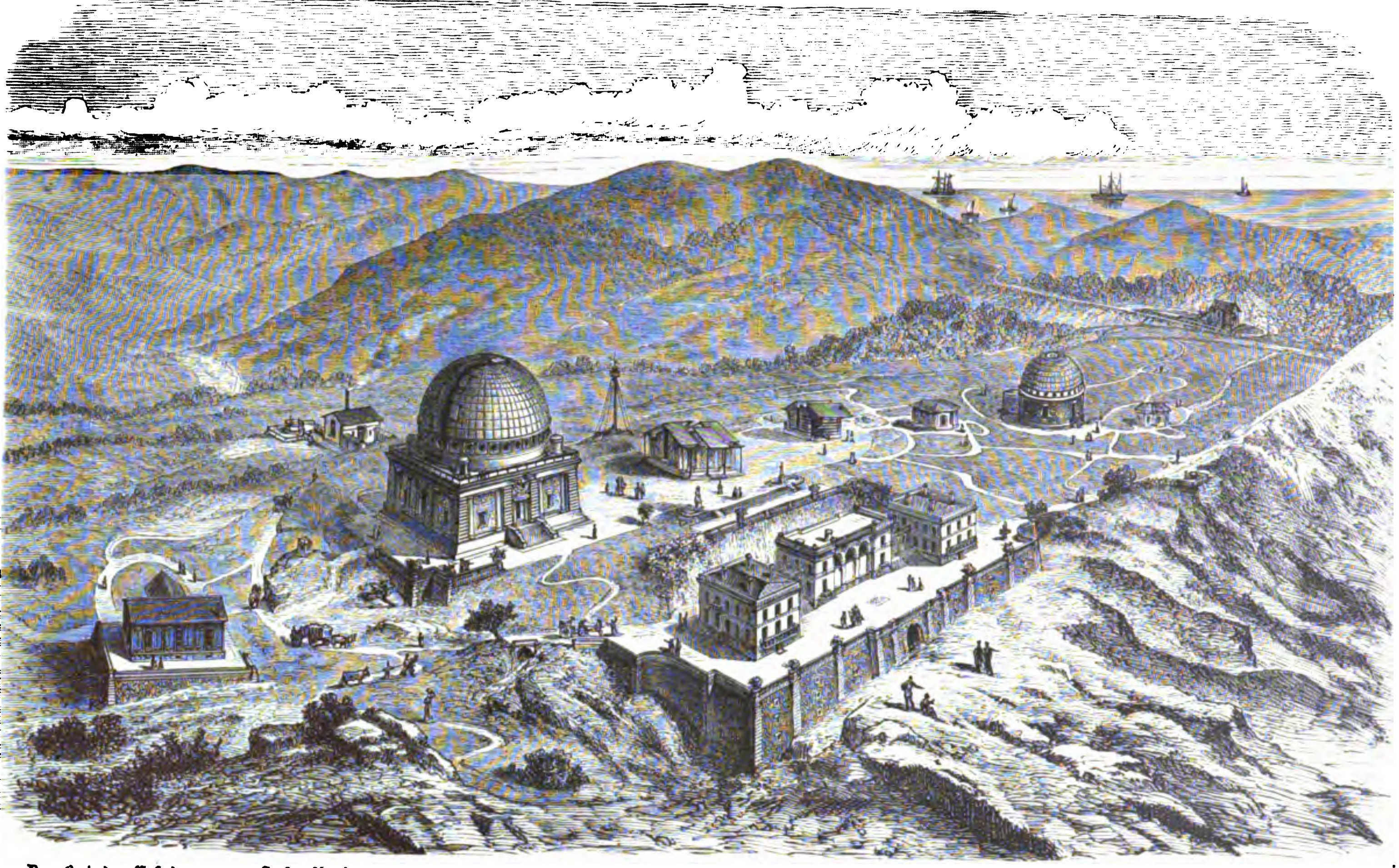
liegend, sondern sie erheben sich treppenartig übereinander; sie schweben gleichsam in der Luft, und die beigedruckte Satzprobe Fig. 283 gibt dafür ein sprechendes Beispiel.

In der ersten Zeile bilden die fünf Worte gleichsam eine von links nach rechts zu abfallende Treppe; das Wort „Tröste" steht auf der obersten Stufe, „dich" steht auf der zweiten und so fort, bis das Wort „Gaben" die tiefste Stelle einnimmt. Die zweite Zeile verfolgt den umgekehrten Weg von unten nach oben: das Wörtchen „Nicht" ist scheinbar das tiefste, „glückt" dagegen das höchste; in der dritten Zeile erscheinen die Worte in zwei Ebenen angeordnet, so daß „Was", „Weise" und „erhaben" höher als die dazwischen liegenden Wörtchen „der" und „sieht" zu stehen scheinen. Wer von unsern Lesern seine Augen so richten gelernt hat, daß er stereoskopische Bilder ohne Apparat zur Deckung zu bringen vermag, für den wird die Prüfung solcher Erscheinungen noch genußreicher sein als für denjenigen, der die beiden Bilder erst hinter die Prismen eines stereoskopischen Apparates bringen muß.

Dove schlug nun vor, zwei Drucke, über deren Identität Zweifel herrschen, also z. B. einen verdächtigen Kassenschein und einen echten, miteinander im stereoskopischen Apparate zu betrachten. Jedes Heraustreten der Schrift oder der Zeichnung aus der Ebene würde auf ein Falsifikat unzweifelhaft hindeuten. Ebenso wird man durch eine stereoskopische Betrachtung augenblicklich Nachdruck vom Originaldruck, Titelauflagen von wirklichen Neudrucken u. s. w. zu unterscheiden vermögen. Und was von Drucken gesagt ist, gilt natürlich von jeder Kopie. Die Nachahmung mag noch so geschickt gemacht sein — der stereoskopische Apparat ist ein sicheres Mittel, sie zu entlarven, und wenn er auch den Fälscher selbst auf die Mangelhaftigkeit seiner Produkte aufmerksam machen kann, so kann er ihm doch nicht in gleicher Weise die Mittel einer genügenden Abhilfe gewähren.



Verbessertes Stereoskop zum Zusammenklappen und Tragen.



Das Buch der Erfindungen. 8. Aufl. II. Bd.

Die Sternwarte zu Nizza.

Leipzig: Verlag von Otto Spamer.



Es zieht dich an, es reißt dich heiter fort,
Und wo du wandelst, schmückt sich Weg und Ort;
Du zählst nicht mehr, berechnest keine Zeit,
Und jeder Schritt ist Unermeßlichkeit.

Goethe.

Die Erfindung des Teleskops.

Geschichtliches über die Erfindung. Weder Jansen, noch Metius, noch Crepi, sondern Lippershey. Galilei. Die Einrichtung des Fernrohrs. Das holländische und das astronomische Fernrohr. Kepler. Campanisches Okular. Erdfernrohre. Äußere Einrichtung und Aufstellung. Weitere Vervollkommnung durch Euler, Dollond, Fraunhofer. Der Fraunhofersche Refraktor auf der Dorpater Sternwarte. Das Passageninstrument. Sonstige Verwendung zu Meßinstrumenten. Nonius und Mikrometer. — Spiegelteleskope. Geschichte. Rieseninstrumente. Verschiedene Einrichtungen nach Newton, Gregory und Herschel. Was sieht man durchs Fernrohr?

Es war in den ersten Jahren des 17. Jahrhunderts, als in der holländischen Stadt Middelburg das Fernrohr erfunden wurde. Ganz sicher ist die Jahreszahl nicht zu bestimmen.

Bald heißt es, die Kinder des Middelburger Brillenmachers Zacharias Jansen hätten mit Glaslinsen, wie sie ihr Vater in seinem Geschäft erzeugte, gespielt. Dabei hätte denn auch zufällig das eine zwei solcher Linsen in gerader Linie etwas entfernt voneinander vors Auge gehalten und nach dem Knopfe eines entfernten Turmes geschaut. Da es denselben plötzlich viel größer und näher erblickt, habe es seine Gespielen auf diese Erscheinung aufmerksam gemacht, der Vater sei dazu gekommen, habe das Experiment wiederholt, und durch verständige Benutzung des Beobachteten sei das Fernrohr erfunden worden.

Bald soll der Brillenmacher Hans Lipperstein, Lippersheim oder Laprey, wie er verschieden genannt wird, von einem Unbekannten aufgesucht und beauftragt worden sein, einige hohle und erhabene Gläser nach seiner Angabe zu schleifen. Als dieselben fertig waren, nahm sie der Fremde in die Hand und beobachtete, indem er ein hohles und ein erhabenes Glas bald näher, bald ferner voneinander hielt, durch sie hindurch die Gegend. Der Glasschleifer merkte sich sein Verfahren, und als er allein war, versuchte er in gleicher

Weise durch ähnliche Gläser zu blicken. Von dem Erfolg überrascht, sei er auf die Idee gekommen, die Linsen in der geeigneten Entfernung dauernd miteinander zu befestigen, und habe so ein Fernrohr verfertigt, welches er dem Prinzen Moritz von Nassau vorgelegt habe. Manche wollen wieder den Sohn des Mathematikers Adrian Metius die Erfindung durch einen ähnlichen Zufall, wie er die Kinder des Zacharias Jansen geleitet habe, machen lassen.

Noch andre aber, die wahren Ben Akibas, gehen viel weiter ins graue Altertum zurück und möchten die Nachricht von einem Bilde des Ptolemäus Claudius aus dem 13. Jahrhundert, auf welchem dieser dargestellt gewesen sei, wie er die Gestirne durch ein aus mehreren Teilen zusammenschiebbares Rohr betrachtet, dahin deuten, daß die Erfindung schon vor sechs Jahrhunderten gemacht worden sein müsse. Und wenn man einige Äußerungen des Roger Baco ganz wörtlich verstehen dürfte, so könnte diese Annahme allerdings einen Grad von Wahrscheinlichkeit bekommen. Allein wie in so vielem ist auch hierin der merkwürdige Weise ganz unklar, während mit Sicherheit doch anzunehmen ist, daß er einen so wichtigen Gegenstand einer ausführlichen Betrachtung wert gehalten haben sollte. Und da auch in den Schriften gleichzeitig und später Lebender sich nichts findet, was das Alter des Fernrohrs um mehr als drei Jahrhunderte vergrößern könnte, dagegen allerwärts im Beginn des 17. Jahrhunderts der neuen Erfindung sehr bewundernd gedacht wird, so dürfen wir mit ziemlicher Sicherheit das Geburtsjahr in die oben angegebene Zeit versetzen.



Fig. 285. Hans Lippershey.

Das Genauere über die ersten Anfänge der Erfindung hat, soweit dergleichen den Nachkommen aus einzelnen, oft ungewissen, absichtlich oder unabsichtlich gefälschten Überlieferungen herauszuschälen möglich ist, neuerdings der Prof. Harting durch sorgfältige Prüfungen festzustellen gesucht, und wir wollen seinen Angaben als den bei weitem beachtenswertesten hier folgen.

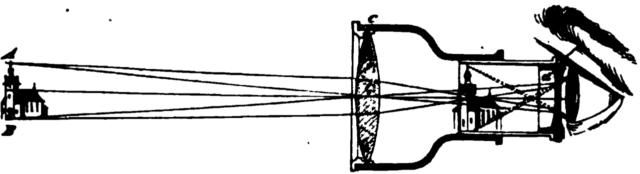
Die erste authentische Nachricht von einem Fernrohr ist eine Resolution der holländischen Stände vom 2. Oktober 1608. Während des spanisch-niederländischen Krieges hatte denselben ein aus Wesel gebürtiger, in Middelburg ansässiger Brillenschleifer Hans Lippershey ein „Instrument, um weit zu sehen“, vorgelegt, weil mit Hilfe desselben im Felde wesentliche Vorteile über den Feind zu erringen sein dürften, und für die Ausbeutung dieser neuen Erfindung um ein Privilegium auf dreißig Jahre oder um eine Pension nachgesucht, wogegen er Geheimhaltung versprach und solche Instrumenta nur zum Nutzen des Landes und nicht für auswärtige Fürsten und Potentaten anfertigen wolle. Die erwähnte Resolution bestimmte die Niedersetzung einer Prüfungskommission, und dem Erfinder wurde darauf zur Probeablegung die Herstellung solcher Instrumente mit Linsen aus Bergkristall und auch eins für zwei Augen aufgegeben. Lippershey scheint dem Auftrage nachgekommen zu sein, trotzdem erhielt er das gesuchte Privilegium nicht; denn mittlerweile, am 17. Oktober 1608, war Jakob Adriaanzoon Metius mit einem ähnlichen Gesuch für dieselbe, angeblich von ihm gemachte Erfindung aufgetreten. Da schon zwei um denselben Gegenstand wußten, so konnte der ausschließliche Besitz nicht garantiert sein, und man ließ der Konkurrenz freie Bahn.

Ob Metius durch die Erfindung Lippersheys erst auf den Gedanken des Fernrohrs

gebracht worden ist, ob er gar durch Verrat erst die Einrichtung kennen gelernt, oder ob er sie schon früher selbständig gemacht und als ein verschlossener, geheimthuender Mann, der er war, niemand eher davon Mitteilung gab, bis der Brillenmacher damit vor die Öffentlichkeit trat, das scheint unaufklärbar zu sein. Genug, er ist der Zeit nach ein Späterer, und die Geschichte nennt deswegen als ersten Erfinder den Middelburger Optiker Hans Lippershey.

Damit müssen auch alle diejenigen Ansprüche, welche von andern Seiten auf die Ehre der Priorität gemacht worden sind, zurückgewiesen werden; andre reduzieren sich unter Abwägung der Umstände auf ein bescheideneres Maß. So kommt ein gewisser Crepi aus Sedan, welcher von vielen als der Erfinder des Fernrohrs angesehen wird, um seinen Ruhm; denn es scheint sicher, daß er indirekt sich den Besitz solcher Kenntnisse verschafft habe. Am 28. Dezember 1608 nämlich schreibt der damalige französische Gesandte Joannin am holländischen Hofe an den König Heinrich IV. und an Sully über die neue Erfindung, von der er sich für den Krieg großen Nutzen versprach. Er hatte sich auch an Lippershey gewandt, um das Fernrohr von diesem zu erhalten, damals aber vergeblich. Erst durch Vermittelung der Stände erhielt er, als diese die Erfindung nicht ankaufen wollten, zwei Fernrohre für den König, die er denn auch mit seinen Briefen durch einen französischen Soldaten nach Frankreich schickte. Es war aber dieser Soldat deswegen zur Überbringung gewählt worden, weil Joannin erfahren hatte, daß derselbe, in mechanischen Künsten sehr geschickt, die Anfertigung der Fernrohre dem Erfinder abgelauscht und solche nun nachahmen könne.

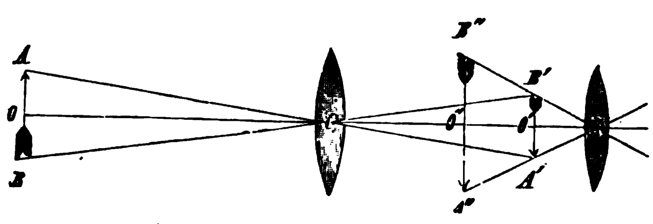
Höchst wahrscheinlich ist Crepi mit diesem Soldaten nicht nur eine und dieselbe Person, sondern auch derjenige Franzose, welcher im Mai 1609 nach Mailand kam und dem Grafen de Fuentes ein Fernrohr gab, eben das, welches Sirturus durch Zufall sah, der dann sofort nach Venedig reiste, dort Glas zu kaufen und ein ähnliches Instrument zusammenzusetzen.

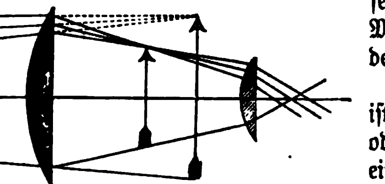

Fig. 286. Holländisches Fernrohr.

Im Juni 1609 war Galilei zu Venedig und hörte von dem Fernrohr reden. Zu derselben Zeit besaß auch schon der Kardinal Borghese eins, das ihm aus Flandern zugeschickt worden war. Galilei hatte somit Gelegenheit, von der Einrichtung und Wirkungsweise sich durch den Augenschein zu überzeugen. Ob er dies gethan, ob nicht, ist zweifelhaft; es kommt im Grunde auch nicht viel darauf an, denn es erhöht weder die Glorie um das Haupt des großen Pisaners in der Weise, wie seine überschwenglichen Biographen erwähnen, wenn er wirklich bloß auf die Nachricht von der Wirkung kombinierter Linsen hin ein Fernrohr konstruiert hätte, noch auch bricht es aus dem Lorbeer seiner wahren Größe ein einziges Blatt, wenn er das erste seiner Fernröhre, welches er am 23. August 1609 dem Dogen von Venedig überreichte, nach genauer Kenntnis der Einrichtung der holländischen Instrumente zusammengesetzt und selbiges also nicht erfunden, sondern bloß nachgemacht hätte.

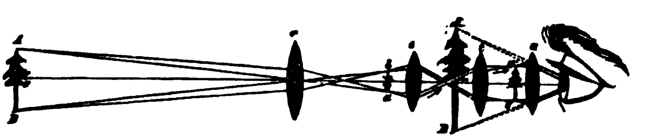
Übrigens waren zu dieser Zeit die Fernrohre in Holland, England und Deutschland bereits ein Handelsgegenstand. Auf der Herbstmesse zu Frankfurt a. M. 1608 wurde zum erstenmal von einem Niederländer eins zum Verkauf ausgeboten, und in London waren sie das Jahr darauf so zahlreich, daß die Käufer die Auswahl hatten. Sie scheinen auch in Nürnberg bald in großer Menge fabriziert worden zu sein, und in Italien lockten die hohen Preise, welche Galilei für seine Instrumente erhielt (1000 Gulden für eins), die Optiker, sich auf die Anfertigung dieser merkwürdigen Apparate zu werfen. Hochgestellte Liebhaber und Förderer der Wissenschaften, deren damals mehr als jetzt selbstthätige Mitarbeiter waren, schliffen sich ihre Gläser selbst. So verfertigte nicht lange, nachdem Galilei das erste Fernrohr zustande gebracht hatte, auch der Fürst Cesi, Stifter der Akademie de Lincei zu Rom, ein Fernglas und gab ihm zuerst auf Eingeben des vortrefflichen Gräcisten Joannes Demiscianus nach dem Griechischen den Namen Teleskopium.

Mit der Erfindung des Namens schließen wir diesen kurzen geschichtlichen Überblick. Aber — fragt mancher — wie ist das mit Zacharias Jansen? — ebenfalls Brillenmacher und ebenfalls zu Middelburg, der bis jetzt doch allgemein für den Erfinder des Fernrohrs gegolten hat und für den sein Landsmann Boreel, Leibarzt am Hofe Ludwigs XIV., so entschieden Partei nahm? — Aus den gerichtlichen Untersuchungen, welche in den ersten fünfziger Jahren des 17. Jahrhunderts auf Veranlassung Boreels in Middelburg angestellt und deren Ergebnisse von einem, nicht mit dem genannten Leibarzt zu verwechselnden, Borel zu einer Schrift verarbeitet wurden, geht hervor, daß Jansen an der Erfindung des Fernrohrs wahrscheinlich keinen Teil hat, daß er aber darum nicht minder der Beachtung der Nachwelt würdig ist als sein Kollege Lippershey, welcher dort Lapprey genannt wird, denn wir verdanken ihm eine ebenbürtige That, die Erfindung des Mikroskops, auf welche wir im nächsten Kapitel zu sprechen kommen. Wie weit die Ideen beider Instrumente einer Wurzel entsprossen sind, und wie weit Lippershey, der später zu seiner Entdeckung kam als Jansen (möglicherweise schon 1590), auf diese sich stützte, ist hier nicht zu untersuchen. Wir haben das Fernrohr zuerst in den Kreis der Betrachtung gezogen, weil seine Einrichtung eine einfachere ist als die des Mikroskops, und ihre Kenntnis uns die Erkenntnis des zusammengesetzteren Apparats erleichtern wird.


Fig. 287. Prinzip des Keplerschen Fernrohrs.


Fig. 288. Campanisches Okular.

Einrichtung des Fernrohrs. Das Fernrohr ist wie das Mikroskop eine Verbindung zweier Linsen oder Linsensysteme, deren optische Achsen genau in einer geraden Linie liegen. Die eine davon, das sogenannte Objektivglas, wird dem beobachtenden Gegenstande zunächst gehalten; sie empfängt die von demselben ausgehenden Lichtstrahlen und konzentriert sie an einem Punkte der Achse, wo sich ein kleines reelles Bild erzeugt; die andre, das Okularglas, dient zur Betrachtung dieses Bildes und ist deswegen zwischen das kleine verkehrte Bild und das Auge eingeschaltet. In den Spiegelteleskopen, die auch hierher gehören, ist das Objektiv durch einen Hohlspiegel ersetzt, was, wie wir wissen, in der Natur des Bildes nichts ändert; doch kommen wir noch ausführlich auf diese Einrichtung zu sprechen. Die Gläser sind in einer inwendig geschwärzten Röhre angebracht, die aus mehreren ineinander verschiebbaren Teilen besteht. Dadurch kann je nach dem Bedürfnis der verschiedenen Augen das Okular dem Bilde beliebig genähert werden.


Fig. 289. Terrestrisches Fernrohr.

Das **holländische** oder **Galileische Fernrohr**, diese ursprüngliche Konstruktion, ist in Fig. 286 dargestellt. Die Strahlen gehen von dem Gegenstande A B aus durch das Objektiv C und möchten sich zu einem kleinen reellen Bilde vereinigen. Dazu kommt es aber nicht, denn das Okular a, eine bikonkave Linse, liegt vor dem Vereinigungspunkte und zerstreut die Strahlen wieder. Durch die richtige Stellung des Okulars können die Strahlen so geleitet werden, als kämen sie aus der deutlichen Sehweite. Das Auge verlegt dann auch dahin das Bild, und dieses erscheint ihm sonach in richtiger Stellung und je nach der Brennweite der Linsen mehr oder weniger vergrößert. Diese einfache Einrichtung bietet den großen Vorteil, sehr kurze Röhren anwenden zu können, und deshalb ist sie besonders für Instrumente in Gebrauch geblieben, von denen eine bequeme Handlichkeit verlangt wird.

Ohne der Deutlichkeit Eintrag zu thun, kann man freilich bei ganz kurzen Röhren die Vergrößerung nicht weit treiben, und es haben daher derartige Fernrohre, Theaterperspektive u. s. w., auch gewöhnlich nur eine vergrößerte Kraft von $2^1/_2$—3. Übrigens hat Galilei auch schon 1618 ein Instrument für zwei Augen, wie unsre Operngläser, konstruiert und kann als der Erfinder dieser Binocles angesehen werden.

Das astronomische oder Keplersche Fernrohr. Die erste wissenschaftliche Darlegung der Prinzipien, auf denen die Wirkung des Fernrohrs beruht, gab Kepler, und derselbe erfand infolge seiner Untersuchungen auch das nach ihm benannte Instrument, welches sich von dem holländischen insofern unterscheidet, als bei ihm (s. Fig. 287) die durch die bikonvexe Linse C gehenden Strahlen wirklich sich zu einem reellen Bilde A' B' vereinigen, welches durch das vergrößerte Okular C' betrachtet wird (A''B''). Das Okular ist also hier nicht wie bei dem holländischen Fernrohr eine bikonkave, sondern wie das Objektiv eine bikonvexe Linse.

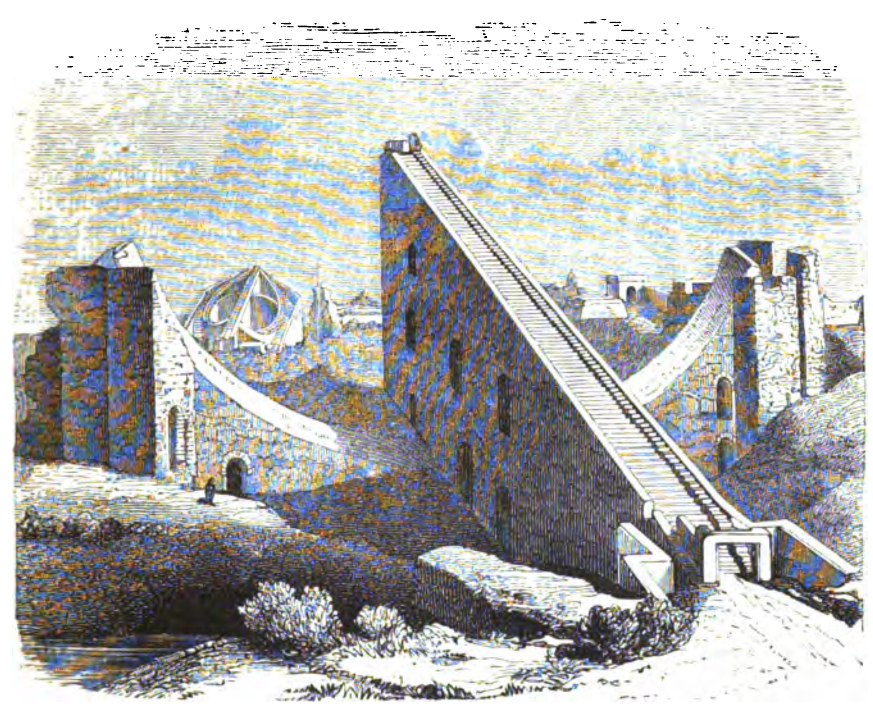


Fig. 290. Sternwarte der Inder in Delhi.

Es kann aber das vom Objektivglas erzeugte verkehrte reelle Bild, durch die Okularlinse betrachtet, nicht umgekehrt werden, daher erscheinen im einfachen Keplerschen Fernrohr auch alle Gegenstände verkehrt, und dasselbe ist deswegen auch nur zur Beobachtung der Gestirne geeignet, bei denen die Stellung der Bilder von keinem Einfluß ist. Bei feineren Instrumenten ist an der Stelle, wo sich das reelle Bild erzeugt, ein Fadenkreuz von Spinnwebfäden ausgespannt, um kleinere Ortsveränderungen des beobachteten Gestirns bemerken zu können.

Übrigens fügt man auch zwischen das Okular und Objektiv eine dritte Linse, das sogenannte Kollektivglas, ein. Dasselbe gehört eigentlich noch zum Objektiv, denn es hat den Zweck, die Strahlen, ehe sie im Bilde zusammenlaufen, stärker konvergierend zu machen, und liegt deshalb zwischen diesem letztern und dem Objektiv. Weil es aber gewöhnlich mit dem Okular in einem Tubus vereinigt ist, hat man nach dem Erfinder diese Kombination das Campanische Okular genannt (s. Fig. 288).

Das terrestrische Fernrohr. Um das Keplersche Fernrohr zur Betrachtung irdischer Gegenstände passend zu machen, müßte man, wie schon sein Erfinder bemerkte, vor das

Okular noch eine dritte Linse setzen. Indessen wurde diese Einrichtung nicht gebräuchlich; **Rheita** ordnete vielmehr die Gläser der Erdfernrohre in der Art an, wie es Fig. 289 zeigt. AB ist das beobachtete Objekt, ba das durch die Objektivlinse davon erzeugte reelle Bild, die Linsen s und t bewirken die Umkehrung des Bildes, und zwar ist t das Kollektivglas; u endlich ist das Okular, durch welches das Bild a' b' betrachtet und vergrößert wird. In unsern jetzigen Instrumenten hat man die Linse s nochmals durch zwei ersetzt, von denen die eine als eine schwache Sammellinse wirkt.

Die **äußere Einrichtung** hat sich zunächst mit der Fassung der Linsen zu beschäftigen; diese kann selbstverständlich für alle drei verschiedene Arten von Fernrohren dieselbe sein. Innerhalb der Rohre, da, wo die Strahlen die Achse kreuzen, sind **Blendungen** angebracht, um alle Strahlen, die durch Spiegelung umhergeworfen werden und die Deutlichkeit der Bilder beeinträchtigen könnten, abzuhalten. Bei astronomischen Fernrohren ist dies nicht so nötig, weil hier, außer von dem beobachteten Objekt, kein Licht einfallen kann.

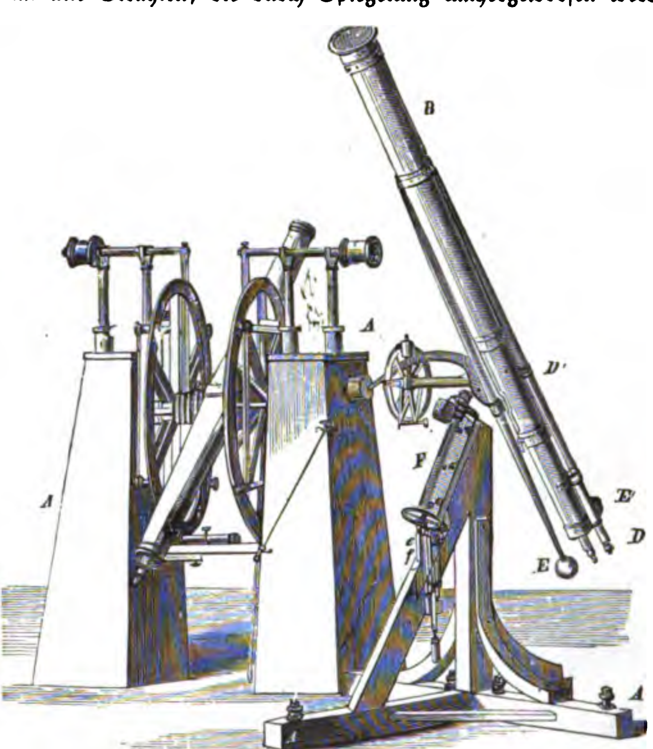


Fig. 291. Repsoldscher Mittagskreis und der Fraunhofersche Refraktor in Dorpat.

Die **Vergrößerung** der Fernrohre ist abhängig von der Brennweite des Objekts und von der Brennweite (astronomisches Fernrohr) resp. der Zerstreuungsweite (holländisches Fernrohr) des Okulars, und zwar ist sie in beiden Fällen gleich dem Quotienten aus beiden. Daher ist die Anfertigung von Gläsern mit großer Brennweite eine Kardinalfrage der Optiker überhaupt, und kurze holländische Fernrohre, wie Feldstecher und Theaterperspektive, haben außer ihrem kleinen Gesichtsfelde (wegen der Divergenz der austretenden Strahlen) auch nur eine geringe Vergrößerung. Astronomische Instrumente aber erhalten aus demselben Grunde ein bedeutendes Volumen, welches ganz besonders genaue Herstellung und eigentümliche Vorrichtungen notwendig macht, damit die Achse der Gläser immer dieselbe bleibt, die Aufstellung sicher und doch leicht beweglich ist, um das Rohr ohne jede Erschütterung der Bewegung des Sternes folgen zu lassen. Außerdem aber sind behufs der genauen Messung noch Einrichtungen getroffen, um die Stellungen der Rohrachse zur Horizontalen und Vertikalen immer bestimmen und korrigieren zu können, die Winkelgrößen zu messen ꝛc., so daß ein solcher Apparat mit all seinem Zubehör ein höchst kompliziertes Werk und bei vollkommener Leistung das größte Kunstwerk der ausübenden Mechanik ist.

Der hohe Zweck sowohl, welchem das Teleskop von Anfang an diente, die Erforschung des Himmels und der Erde, Bestimmung der Größe, Oberfläche, Masse, Entstehungsweise, Bewegung der Gestirne, sowohl der nächtlich leuchtenden als des von uns bewohnten Planeten (Gradmessungen), als auch, weil außerdem das Fernrohr im Laufe der Zeit allen andern physikalischen Beobachtungs- und Meßmethoden sich als ein ausgezeichnetes Hilfsmittel einreihte, haben ohne Unterlaß die praktischen Naturwissenschaften getrieben, ihre höchste Aufgabe mit darin zu sehen, die Fernrohre mehr und mehr zu vervollkommnen.

Um die Vergrößerung der Bilder zu erhöhen, gibt es zwei Wege: entweder man steigert die Brennweite des Objektivs oder man verringert die Brennweite des Okulars. Der letztere Weg ward vor der Entdeckung der Gesetze der Achromasie und der Kunst, durch zusammengesetzte Linsen die Farbenzerstreuung aufzuheben, sehr begrenzt, und es blieb nichts übrig, um die stärkere Vergrößerung zu erreichen, als Gläser von einer größeren Brennweite anzuwenden. Das Arrangement derselben wurde aber dadurch in gleichem Maße erschwert, denn die Röhren, innerhalb deren die Gläser angebracht wurden, erhielten ein zu bedeutendes Gewicht, um sich mit der nötigen Leichtigkeit handhaben zu lassen, unterlagen auch mit der wachsenden Länge der Gefahr, sich zu krümmen, was das Allerschlimmste ist.

Man griff zwar zu dem Aushilfsmittel, den mittleren Teil des Rohres, welcher ja nur als Blendung dient, wegzulassen und die Objektive in einer kurzen Röhre an einem festen Punkte derart anzubringen, daß sie nach den betreffenden Beobachtungsobjekten leicht gerichtet werden konnten, und somit konnte man die Okulare in weite Entfernung davon bringen. Solche Luftfernrohre wandte, wie es scheint, Huyghens um das Jahr 1684 zuerst an. Auf der Sternwarte zu Delhi, Fig. 290, deren eigentümlicher Bau lediglich durch diese Art der Aufstellung bedingt war, hatten die beobachtenden Brahminen noch in den ersten Jahrzehnten dieses Jahrhunderts derartige Fernrohre in Gebrauch. Ein gegen 30 m hohes Mauerwerk diente zur Befestigung des Objektivs, während das Okular je nach dem Stande des zu beobachtenden Gestirnes rechts oder links davon und mehr oder weniger hoch auf einer in einer Kurve ansteigenden Treppe aufgestellt wurde. Diese Treppe ist auf unsrer Abbildung nicht angegeben. Die indischen Beobachtungsbauten, deren man auf unsrer Abbildung zwei sieht, und deren auch eine in Benares noch erhalten ist, dienten wesentlich als Gnomone. Am Tage wurden sie als Sonnenuhren benutzt, indem der Schatten der mit der Erdachse parallel gerichteten Kante der Mittelmauer auf dem in

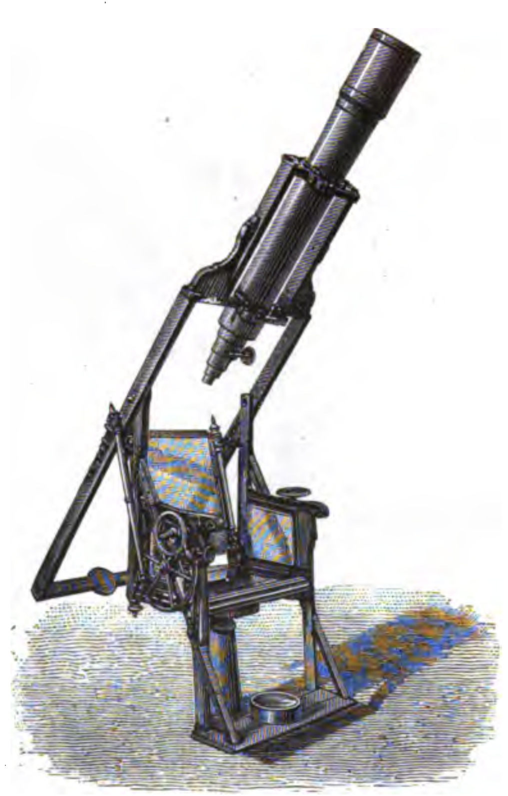


Fig. 292. Kometensucher von Merz.

Stunden und Minuten geteilten gemauerten Cylinder, den die Abbildung deutlich erkennen läßt, die (Sonnen-) Zeit anzeigte. In der Nacht wurden von den Teilpunkten des genannten Cylinders aus die Sternenaufgänge über der Mauerkante beobachtet. Die beiden in Delhi nahe bei einander erbauten Rieseninstrumente (errichtet durch Dschai Singh um 1730) ermöglichten die Anstellung unabhängiger, einander kontrollierender Messungen. Die Kante der Mittelmauer des im Vordergrund dargestellten Gnomons ist nicht weniger als 118 engl. Fuß lang. Die Gradteilung an dem Cylinder ist so groß, daß 1 Grad nahezu 1 Fuß Bogenlänge umfaßt, die Grade sind in Sechstel geteilt.

Die Luftfernrohre waren schwerfällig und erfüllten ihren Zweck eben nur, solange man nichts Besseres kannte. Als aber die Erscheinungen der Lichtbrechung genauer untersucht worden waren, Cartesius und Huyghens die Theorie des Fernrohrs vollkommen ausgebildet, Euler die Möglichkeit, achromatische Linsen zusammenzusetzen, nachgewiesen und Dollond der Vater, nachdem durch Klingenstierna die Sache zweifellos gemacht war, die ersten achromatischen Fernrohre wirklich angefertigt hatte, verließ man die alten Methoden und wandte die Entdeckungen an, welche die Wissenschaft gemacht und die Technik genügend bestätigt hatte.

Von dieser Zeit an datiert ein Umschwung in der ausübenden Optik, welche, von der Chemie durch Erzeugung passender Glassorten unterstützt und von der Mechanik in gleicher Weise gefördert, wie die Mechanik durch ihn gefördert wurde, in Männern wie Fraunhofer, Steinheil und Merz ihren Höhepunkt erreichte. Seit 1812 haben die achromatischen Linsenfernrohre, welche bis dahin in den Spiegelteleskopen noch mächtige Nebenbuhler gehabt hatten, diese fast vollständig verdrängt.

Unsre Fig. 292 zeigt einen Kometensucher von Merz, der sich im Besitz des Barons von Engelhardt in Dresden befindet. Das Instrument ist auf einem Stuhl montiert — eine Art der Montierung, die neu und sehr wenig bekannt ist. Das Okular befindet sich im Durchschnittspunkt der horizontalen und vertikalen Achsen des Fernrohrs, und infolgedessen bleibt der Körper und der Kopf des Beobachters stets in unveränderter Lage, bei jedem Azimut und jeder Höhe eines Gestirns — eine ganz außerordentliche Bequemlichkeit. Die feine Bewegung des Rahmens mit dem Fernrohr wird durch das links befindliche Rädersystem hervorgebracht. Der Stuhl aber dreht sich um seine Achse durch das System, welches zur Rechten befestigt und auf der Abbildung nur teilweise sichtbar ist.



Fig. 293. Universaltransit von Bamberg.

Wir können uns hier nicht auf eine ausführliche Beschreibung der Instrumente, wie sie auf einer Sternwarte vertreten sein müssen, einlassen, indessen wollen wir für das Gesagte in Fig. 291, welche den großen Fraunhoferschen Refraktor auf der Dorparter Sternwarte und das Repsoldsche Mittagsrohr in Pulkowa nebeneinander zeigt, noch einen Beleg geben.

Das Objektivglas des ersteren hat einen Durchmesser von 9 Pariser Zoll, eine Brennweite von 160 Zoll und gestattet eine 1420fache Vergrößerung; das Rohr B ist 13 Pariser Zoll lang. EE' sind Gegengewichte und dienen dazu, das Rohr teils vor Verbiegungen zu sichern, teils das Gleichgewicht bei den verschiedenen Richtungen herzustellen und so die Bewegungen des Fernrohrs leicht genug zu machen, um mit ganz geringem Kraftaufwande bewirkt werden zu können. Da aber das große Rohr doch ein verhältnismäßig kleines Gesichtsfeld hat, so befindet sich an demselben ein kleineres mit paralleler Achse, der sogenannte Sucher DD'. Mit diesem kann man einen weit größeren Teil des Himmels übersehen. Man benutzt ihn daher, um die zu beobachtenden Sterne in das Gesichtsfeld des großen Instruments zu bringen. Das Ganze ruht auf dem mittels Schrauben zu befestigenden

Gestell A. An diesem Gestell ist eine mit der Weltachse parallel gerichtete Achse F angebracht: dieselbe trägt ein Uhrwerk efg, welches den Zweck hat, durch seinen Gang das Fernrohr so mit zu drehen, daß das Objektiv dem Laufe des Gestirns folgt und dieses also stets im Sehfelde bleibt. Bei dem Dorparter Instrument ist diese Einrichtung so vollkommen, daß der beobachtete Stern förmlich in der Mitte des Fadenkreuzes fixiert erscheint.

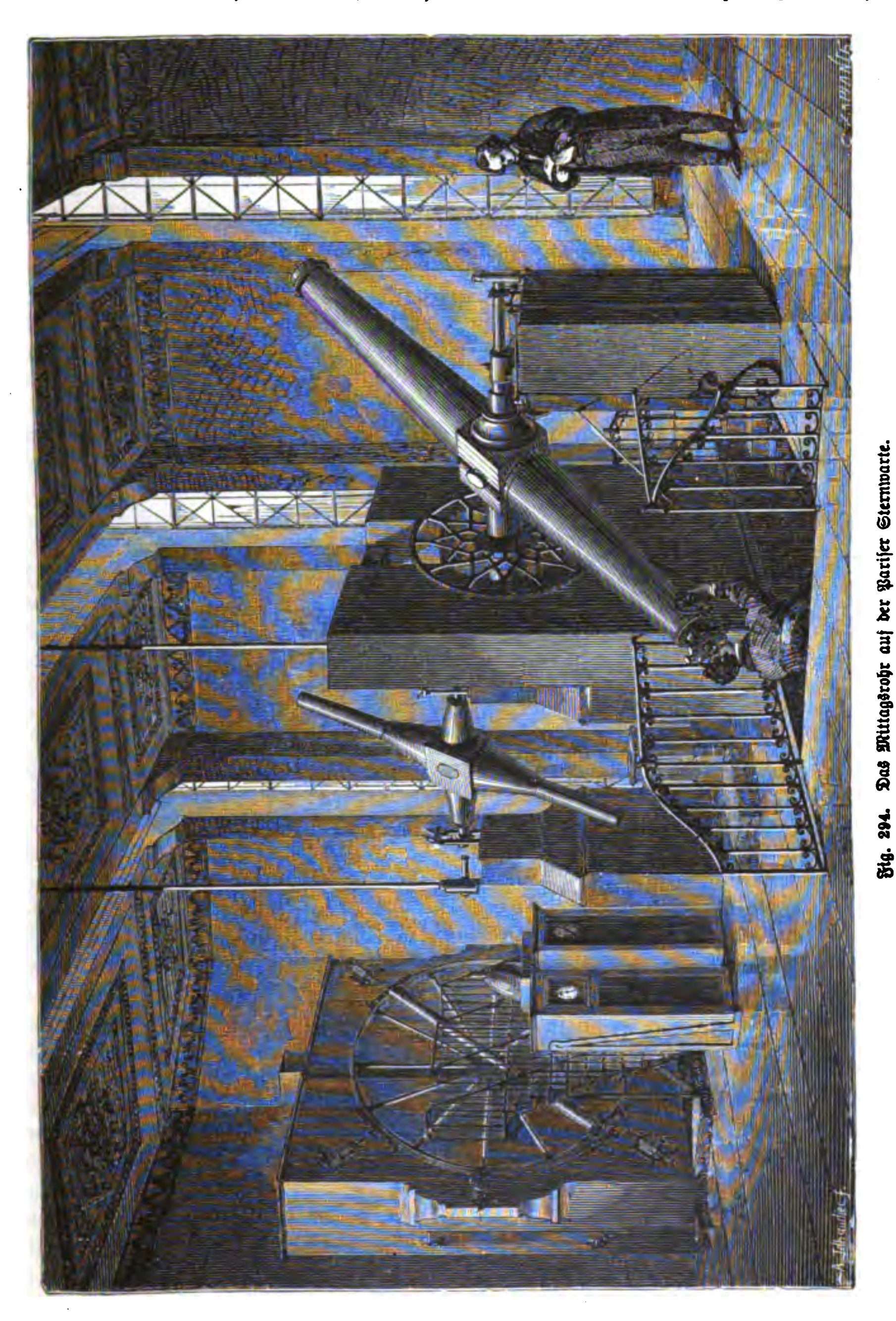


Fig. 294. Das Mittagsrohr auf der Pariser Sternwarte.

Das andre, links angebrachte und mit dem Refraktor keineswegs in Verbindung stehende Instrument ist ein sogenanntes Mittagsrohr oder Passageninstrument und dient dazu, alle diejenigen Sterne und ihren Abstand vom Pole in dem Augenblicke zu beobachten,

wo sie durch den Meridian der Sternwarte gehen. Das Mittagsrohr findet in den zwei granitnen Pfeilern AA seine Träger und läßt sich mittels einer besondern Vorrichtung umlegen, damit das Objektiv auch nach der entgegengesetzten Seite gerichtet werden und man ebenso in nördlicher als in südlicher Richtung das Himmelsgewölbe betrachten kann. Da es sich darum handelt, den Augenblick zu bemerken, wann ein Gestirn gerade durch unsern Mittagskreis geht, so muß die Aufstellung und die Ebene, in welcher das Rohr auf- und abgedreht werden kann, genau mit der Ebene des Meridians zusammenfallen. Ein Fadenkreuz gibt auch hier den Punkt der Achse oder des Meridians an. Nach dem Eintritt der Sonne reguliert man die astronomische Uhr, welche dann ihrerseits die Zeit angibt, zu welcher ein Stern den Meridian passiert. Um den Aufsteigungswinkel des Gestirnes genau zu messen, dienen die beiden großen Kreise an der Seite des Rohres. Dieselben sind sehr genau in Grade, Minuten und Sekunden geteilt und bewegen sich an einem feststehenden Zeiger vorüber. Hat nun das Instrument seine Stellung erhalten und das Gestirn ist im Sehfelde, so kann man an den Kreisen mit Lupen bis auf das kleinste Bruchteilchen genau den Erhebungswinkel ablesen. An mehreren Orten des Instrumentes sind Wasserwagen aufgestellt, um sich von dem richtigen Stande desselben zu überzeugen. Die Vergrößerungen sind, da es hier nicht auf die genaue Erforschung ankommt, nicht so stark, höchstens 245fach.

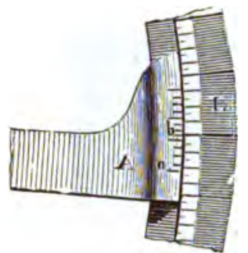




Fig. 295. Der Nonius.

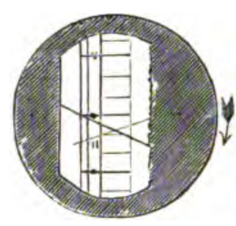


Fig. 296. Mikrometer.

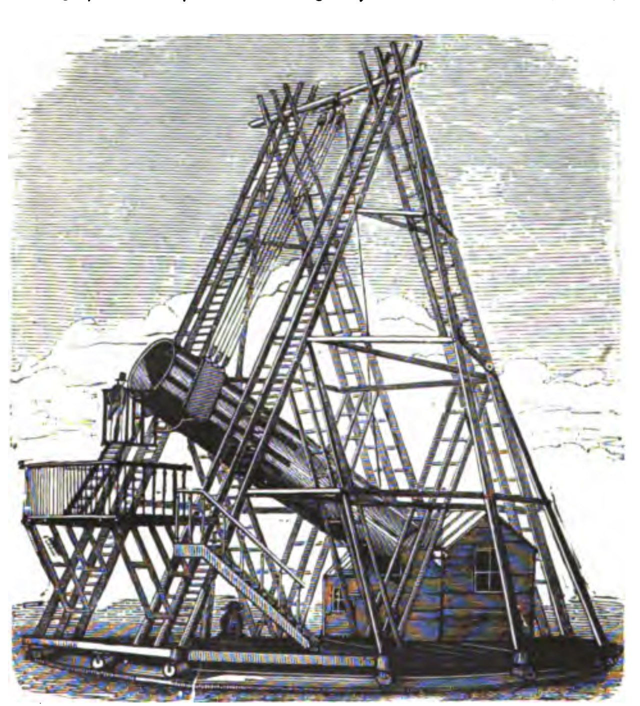


Fig. 297 Herschels Riesenteleskop.

Die Mittagsrohre oder Durchgangsinstrumente erhielten ihre durch den ersteren Namen angedeutete Aufstellung deswegen, weil die Orientierung in den Meridian lange Zeit die einzig sichere war. Mit der fortschreitenden Vervollkommnung der Methoden und der Präzisionsapparate jedoch ist es auch möglich geworden, andre Vertikalebenen durch genaue Winkelmessungen sicher auf jene natürlich gebotene zu beziehen und daraufhin Instrumente zu erbauen, welche für jedes beliebige Horizontal-Azimut dieselben Beobachtungen zulassen, welche durch die früheren Passageninstrumente auf den Meridiankreis allein beschränkt waren. Ein solches Instrument ist der in Fig. 293 abgebildete Universaltransit von Bamberg, dessen ganzer Körper nebst dem Fundament LL MM sich in horizontaler Ebene auf einem geteilten Kreise um dessen Achse drehen läßt, während das eigentliche Fernrohr BCD seine Vertikalbewegung wie jedes andre Passageninstrument dann in der genau gegen den Meridian bestimmbaren Ebene ausführt. Dieses

Instrument hat hier noch die besondere Einrichtung, daß es in der Mitte gebrochen ist. Das Okular befindet sich bei D, wohin die Strahlen durch einen innen im Knie angebrachten Reflexionsapparat geleitet werden, eine Einrichtung, welche größere Bequemlichkeiten für den Beobachter mit sich führt. — In England hat man in neuerer Zeit sehr große Instrumente ausgeführt, und namentlich hat der Vikar Craig zu Wandsworth mit seinen Instrumenten, zu denen Slatter die Bestandteile lieferte, von sich reden gemacht. Doch die Größe allein thut's freilich nicht, und alles zusammengenommen sind die Gläser, welche aus dem früher Utzschneider-Fraunhoferschen optischen Institut in München hervorgegangen sind, unübertroffen. Einen sehr glücklichen Gedanken, dessen Ausführung der Vergrößerung des Objektivs zu gute gekommen ist, hat Littrow gehabt.

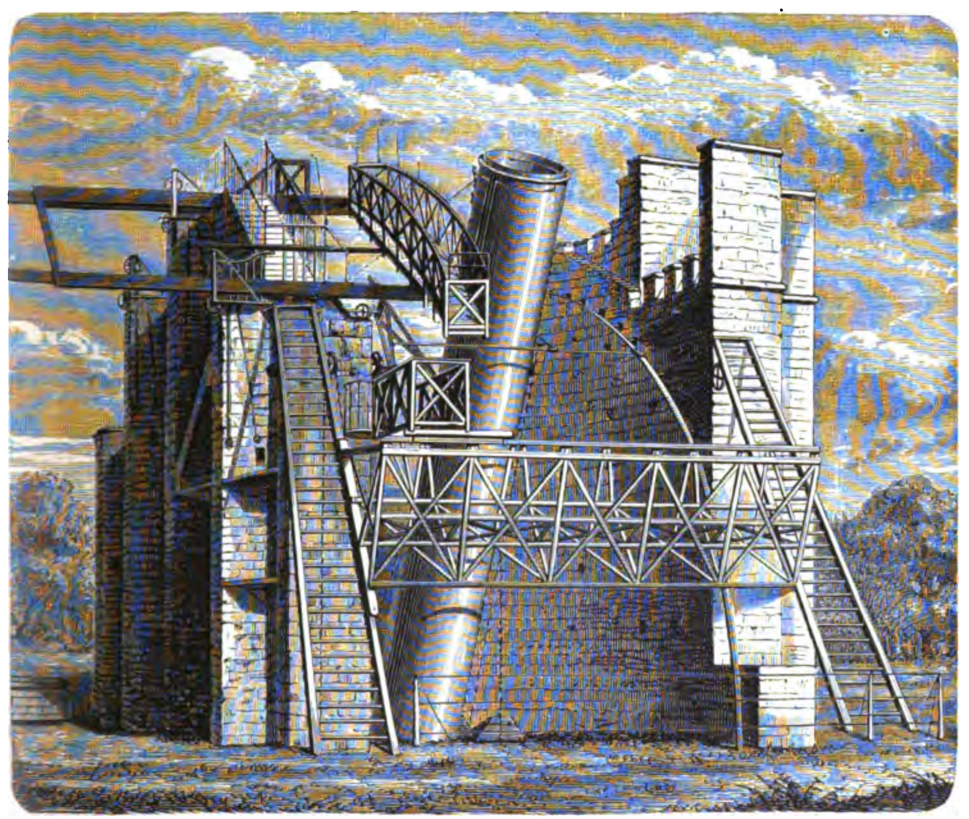


Fig. 298. Das Rossesche Instrument bei Schloß Parsonstown.

Es ist nämlich ungleich schwieriger, große Stücke Flintglas von durchgängig gleicher Beschaffenheit zu erhalten als von Kronglas. Anstatt nun die beiden Linsen dicht aufeinander zu legen, in welchem Falle dann beide denselben Durchmesser haben müssen, wenn keine Strahlen verloren gehen sollen, schlug Littrow vor, die Flintglaslinse hinter der Kronglaslinse in einigem Abstande anzubringen und sie um so viel kleiner zu nehmen, als die von der letzteren schon zusammengebrochenen Strahlen erlauben. Solche Fernrohre hat Plößl in Wien seit 1832 ausgeführt, sie sind unter dem Namen dialytische Fernrohre rasch in ausgedehnten Gebrauch gekommen.

In neuester Zeit machen die Arbeiten der Nordamerikaner viel von sich reden und ist es ein amerikanischer Optiker Alvan Clark, dessen Anstalt in bezug auf Leistungsfähigkeit für Riesenteleskope bis zu 75 cm und mehr Öffnung das Merzsche Institut in München allerdings übertrifft. Die Vorzüglichkeit der Clarkschen Fernrohre ist Veranlassung geworden, daß die russische Zentralsternwarte zu Pulkowa, welche bereits einen vorzüglichen Refraktor besitzt, ein Rieseninstrument von 75 cm freier Öffnung und $26{,}5$ m Brennweite bei Clark

in Auftrag gegeben hat. Um sich von den ungeheuren Verhältnissen eines solchen Fernrohrs eine Vorstellung zu machen, sei erwähnt, daß das Gesamtgewicht des Objektivglases und seiner Fassung nahezu 5 Zentner betragen wird. Ein zweiter noch größerer Refraktor, dessen Objektivglas 95 cm Durchmesser erhalten wird, ist von Clark für die Sternwarte auf Mt. Hamilton in Kalifornien in Angriff genommen worden.

Nonius und Mikrometer. Da die Fernrohre ferner die wesentlichsten Bestandteile vieler andrer Instrumente, der Theodoliten, des Multiplikationskreises, des Heliotrop, Sextanten, des Bussolenapparats, der Nivellierinstrumente u. s. w. sind, und sie überall dazu dienen, um durch Heranziehung ferner Punkte in die Maßverfahren diesen letzteren große Genauigkeit, oder ihnen eine gewisse absolute Geltung in bezug auf die Gestirne, den Polarstern, zu geben, so finden wir es hier am Platze, der Hilfsmittel noch Erwähnung zu thun, welche zu genauen Maßbestimmungen, namentlich zur Bestimmung der Winkelgröße, angewendet werden. Es beruhen ja fast alle astronomischen und geodätischen Messungen auf Winkelmessungen, und das Vertrauen auf die Sicherheit ihrer Resultate kann nur durch die Kenntnis ihrer Methode gewonnen werden.

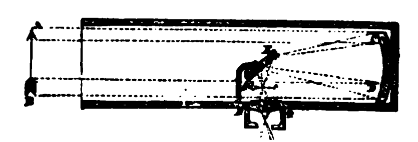


Fig. 299. Newtons Spiegelteleskop.

Zuerst erinnern wir uns, in der Beschreibung des Sextanten dem Namen Nonius begegnet zu sein. Der Nonius — besser Vernier, weil die Erfindung mit größerm Recht einem Deutschen, Werner, als dem portugiesischen Pater Nunez zugeschrieben werden muß — ist eine eigentümliche Vorrichtung, kleinere Winkel oder Längemaßgrößen, als direkt auf dem Maßstab angegeben sind, mit Genauigkeit zu taxieren. Ein geteilter Kreis, an welchem die Winkelbewegung eines Fernrohrs gemessen werden soll, zeigt z. B. noch Sechstelgrade, es sollen aber die Messungen bis auf halbe Minuten genau ausgeführt werden. Dies zu erreichen dient eben der Nonius. Derselbe ist im Grunde nichts als ein Zeiger, welcher, mit dem Fernrohr fest verbunden, bei der Drehung desselben über den Maßstab, den geteilten Kreis, sich bewegt. Er hat aber nicht eine einzige Marke, wie die Zunge der Wage, sondern ist selbst ein Maßstab, wie es Fig. 295 zeigt, in welcher die Teilung L dem Maßkreise, die Teilung ab dagegen dem am beweglichen Arm A befindlichen Nonius zugehört. Die Teilung des letzteren steht zu der des Hauptkreises in bestimmtem Verhältnis. Derselbe Raum nämlich, der auf L z. B. in 29 kleinste Teile geteilt ist, enthält auf dem Nonius 30 Teilstriche, so daß, wenn die Anfangsstriche auf L und A zusammenfallen, die folgenden immer um $^1/_{30}$ mehr gegeneinander differieren. Diese Verschiebungen sind sehr leicht zu bemerken, und wenn nicht die Anfangsstriche sich decken, sondern irgend zwei spätere, so wird man aus der Anzahl, die bis zum Nullpunkt liegen, die gesuchte Winkelgröße leicht beweisen können. Liegt der Nullpunkt des Nonius zwischen zwei Teilstrichen, etwa 30° 20 bis 30 Minuten, und fällt erst der 13. Teilstrich des Nonius mit einem Teilstrich des Maßkreises, der in Sechstelgrade geteilt sein soll, zusammen, so werden zu den 20 Minuten noch $^{13}/_{30}$ von 10 Minuten oder 4 Minuten 20 Sekunden zugezählt werden müssen, und der gesuchte Winkel ist daher 30° 24' 20".

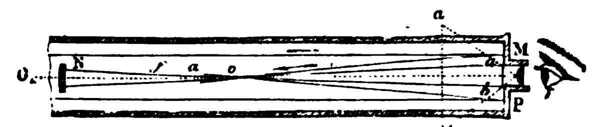


Fig. 300. Durchschnitt des Gregoryschen Instrumentes.

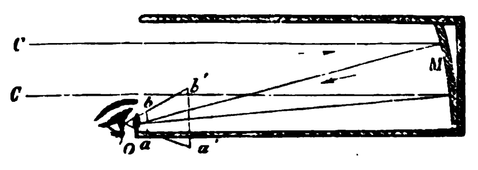
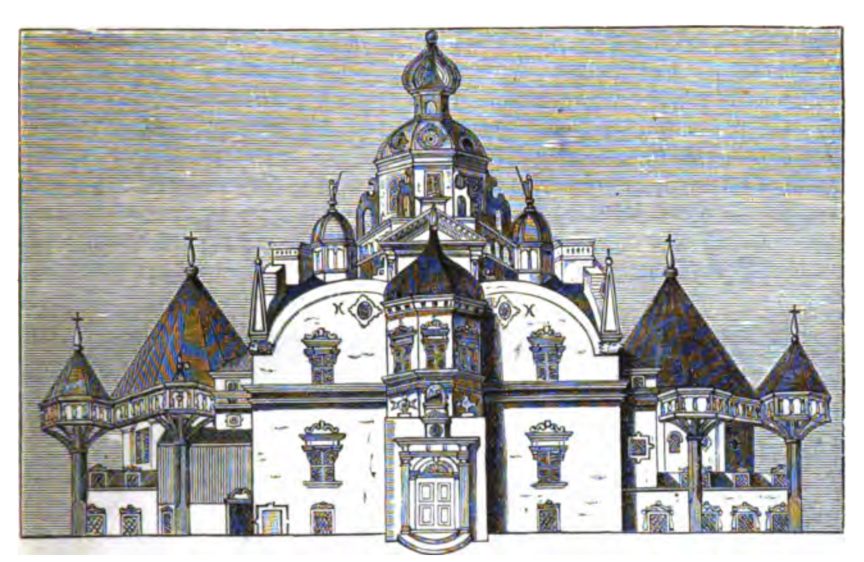


Fig. 301. Einrichtung des Herschelschen Spiegelteleskops.

Neben dem Nonius ist besonders das Mikrometer für feinere Messungen wichtig. An Stelle des Nonius denken wir uns mit dem drehbaren Arme A ein kleines Fernrohr verbunden, welches auf die Skala gerichtet ist und in seinem Brennpunkte ein Fadenkreuz trägt, so daß sich darin die Teilung ungefähr wie in Fig. 296 zu erkennen gibt.



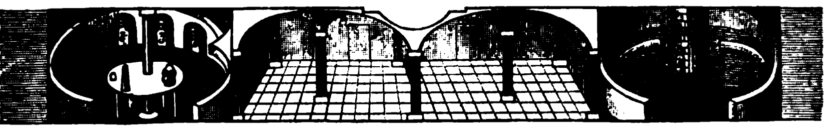


Fig. 302. Tycho Brahes Sternwarte Uranienborg (Himmelsburg) auf der zwischen Dänemark und Schweden gelegenen Insel Hveen, aus dem Jahre 1576.

(Unten: Durchschnittsansicht des unteren Raumes).

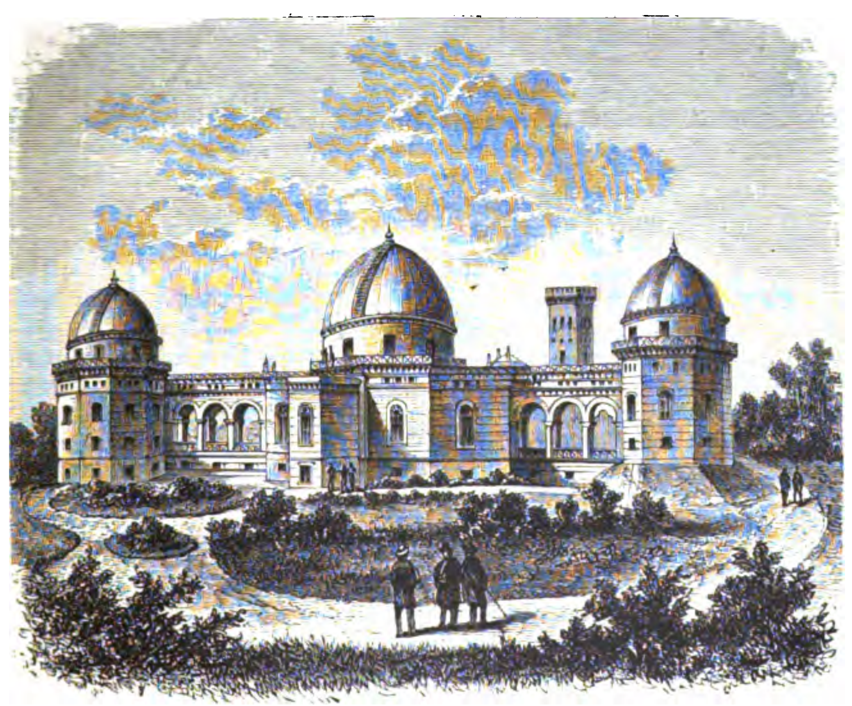


Fig. 303. Das astrophysikalische Observatorium zu Potsdam.

Der Kreuzungspunkt der Fäden ist der Punkt, an welchem die Teilung abgelesen wird, selten aber wird er genau auf einen Teilstrich fallen. Man kann dies jedoch erreichen, da das Fadenkreuz mit Hilfe einer Mikrometerschraube verschiebbar ist, und die Anzahl der Drehungen und die Bruchteile der Umläufe geben die kleinen Teile an, welche dem Maße zugelegt, beziehentlich von ihm abgezogen werden müssen. Gesetzt, der große Kreis sei in Sechstelgrade geteilt und es gehörten 30 Umläufe der Schraube dazu, um den Mittelpunkt des Fadenkreuzes von einem Teilstriche zum andern zu bewegen, so entspricht einer Schraubendrehung eine Winkelgröße von 20 Sekunden, und da sich eine Zwanzigstel-Umdrehung bequem taxieren läßt, so werden wir auf diese Weise Winkelgrößen bis zu einer Sekunde messen können. Bei astronomischen Beobachtungen ist übrigens eine solche Größe durchaus nicht zu vernachlässigen, denn die ganze Jupiterscheibe hat nur einen scheinbaren Durchmesser von etwa 38 Sekunden.



Fig. 304. Mond im ersten Viertel. Nach einer Photographie von Warren de la Rue.

Zu dergleichen genauen Messungen werden nur Refraktoren, d. h. Fernrohre, welche durch Brechung mit Glaslinsen wirken, angewendet; es gibt aber außer ihnen, wie schon gelegentlich erwähnt wurde, noch andre, die vorzüglich zu Newtons Zeit, als es noch nicht gelungen war, die farbigen Ränder der Linsenbilder zu beseitigen, in Aufnahme kamen, weil bei ihnen die Farbenzerstreuung sich nicht merkbar macht. Dies sind die

Reflektoren oder Spiegelteleskope. Sie wurden sehr bald nach den Linsenfernrohren erfunden, und es scheint Zucchi, ein Jesuitenpater, zuerst auf den Gedanken gekommen zu sein, metallene Hohlspiegel statt der gläsernen Objektive zu nehmen und die reellen Bilder derselben mit einer Okularlinse zu betrachten. Er soll diese Idee auch 1616 ausgeführt haben, was um so bemerkenswerter ist, als Kepler erst mehrere Jahre später in dem astronomischen Fernrohr die Konkavlinse als Okular anwandte. Zucchis Erfindung wurde außer Italien nicht bekannt. In Frankreich beschäftigte sich Mersenne im Jahre 1639 damit, die Hohlspiegel in die Teleskopie einzuführen, aber weder hier noch in England, wo Gregory sich deren Vervollkommnung angelegen sein ließ, schenkte man den Spiegelteleskopen anfänglich viel Beachtung. Und auch Newton, dessen zwar falsche, aber folgenschwere Behauptung, es lasse sich kein achromatischer Refraktor herstellen, den Hoffnungen der Optiker und Astronomen nach dieser Richtung hin doch eine so enge Grenze setzte, wandte sich von den Reflektoren wieder ab, nachdem er mit eigner Hand zwei solcher Instrumente hergestellt hatte, von denen das eine noch im Museum der Königlichen Akademie in London aufbewahrt wird: „Invented by Sir Isaac Newton and made with his own hands. In the year 1671".

Die Spiegelteleskope kamen erst mehr in Gebrauch, als von Hadley, Hawksbee, Cassegray in Frankreich ausgezeichnete Instrumente herzustellen gelehrt worden war; die gleichzeitige Verbesserung der Glaslinsen ließ sie aber nie in ausschließliche Verwendung kommen. Am berühmtesten wurden in England die Spiegelteleskope von James Short, vor allen aber die Rieseninstrumente, durch deren besten Bau sowohl als besten Gebrauch sich W. Herschel zum berühmtesten Optiker und größten Astronomen seiner Zeit machte.

Er verfertigte eigenhändig eine große Anzahl von Spiegeln von einer solchen Vollkommenheit, daß er bei Reflektoren von 6 m Brennweite bis 2000fache Vergrößerung anbringen konnte, ohne die Bilder undeutlich zu machen. Das größte seiner Teleskope, von dessen Aufstellung uns Fig. 297 eine Ansicht gibt, vollendete er im Jahre 1789. Die Länge des Rohres betrug 12 m, der Durchmesser 1,5 m und das ganze Gewicht 2500 kg.

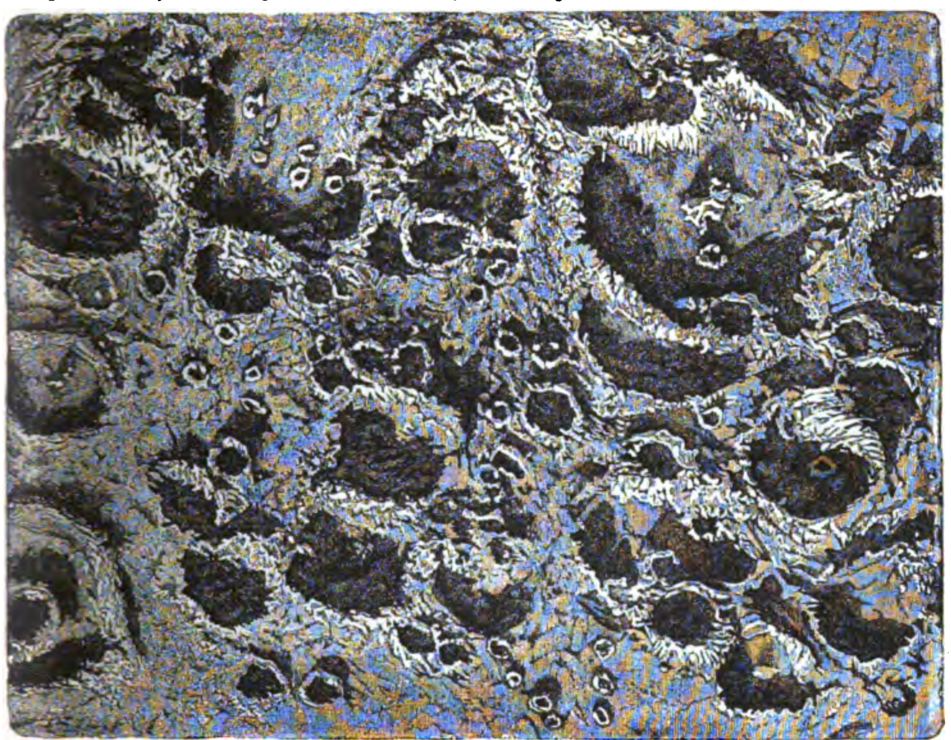


Fig. 305. Eine Kraterlandschaft des Mondes bei untergehender Sonne.

Der Spiegel allein wog mehr als 1000 kg; dafür gab es aber auch eine 6400fache Vergrößerung. Die Kosten des ganzen Apparats beliefen sich auf gegen 42000 Mark; Geld und Mühe brachten aber nicht den geträumten Nutzen, denn nicht lange nach seiner Aufstellung verlor der Spiegel in einer einzigen feuchten Nacht seine schöne Politur.

Lord Rosse hat dieses Herschelsche Instrument durch ein noch größeres übertroffen, dessen Rohr 16 m Länge, dessen Spiegel nahe an 2 m Durchmesser und über 3800 kg Gewicht hat, im ganzen also 15000 kg wiegt. Es ist zwischen Mauerwerk von 20 m Länge und 13 m Höhe aufgestellt und soll seinem Erbauer gegen 240000 Mark gekostet haben.

Die innere Einrichtung eines Spiegelteleskops ist einfach und wird aus der Betrachtung der auf Seite 280 gegebenen Abbildungen, Fig. 299—301, leicht verständlich. Die erste Figur (Fig. 299) gibt uns ein Newtonsches Instrument im Durchschnitt. Es besteht dasselbe aus einem großen hölzernen Rohre, an dessen Boden der parabolisch gekrümmte Metallspiegel CD liegt. Dieser empfängt von dem beobachteten Gegenstande AB Lichtstrahlen, die er auf den kleinen, unter 45° geneigten Spiegel FF reflektiert. Derselbe steht so weit nach vorn, daß erst unter demselben das reelle Spiegelbild de sich bilden kann, welches dann durch eine vergrößernde Linse GH betrachtet wird. Anstatt des kleinen Spiegels bedient man sich zum Herabwerfen des Bildchens auch der totalen Reflexion eines Prisma.

Die älteren Gregoryschen Instrumente (Fig. 300) hatten eine andre Einrichtung. Bei ihnen stand dem großen Spiegel MP in der Achse desselben ein kleinerer, N, von geringerer Brennweite entgegen, welcher die Strahlen gerade wieder zurück und einem hinter dem in der Achse durchbohrten Objektivspiegel befindlichen Linsenokular zuwarf, so daß man mit diesem das Bild ab betrachten konnte.

Die ganz großen Instrumente, wie das oben erwähnte Herschelsche Riesenteleskop, sind nach Art von Abbildung Fig. 301 eingerichtet. Bei ihnen sitzt der Beobachtende mit seinem Rücken gegen das Objekt CC gekehrt und betrachtet das von dem etwas geneigten Spiegel M zurückgeworfene Bild ab mittels eines Okulars O. Die Spiegelteleskope, welche von den Refraktoren in den Hintergrund gedrängt worden waren, schienen in neuerer Zeit, namentlich nachdem Liebig (1856) gelehrt hatte, sehr dauerhafte und lichtkräftige Glasspiegel durch Versilbern darzustellen, wieder in Aufnahme kommen zu wollen. Der Umstand, daß bei ihnen das Störende der Farbenzerstreuung wegfällt, würde allerdings lebhaft zu ihren gunsten sprechen. Steinheil schlug deshalb auch die Anwendung versilberter Hohlspiegel wieder vor, und Foucault in Paris hat darauf eine Anzahl sehr guter Instrumente hergestellt, bei denen er sich der totalen Reflexion eines Prisma zur Ablenkung der von dem Sammelspiegel kommenden Strahlen nach dem Okular statt des Planspiegels EF (Fig. 299) bediente. Indessen haben dieselben den ebenfalls fortgeschrittenen Refraktoren gegenüber keinen Vorrang erringen können und, wie es scheint, werden die Linsenfernrohre für feinere Beobachtungen den Vorzug behalten.

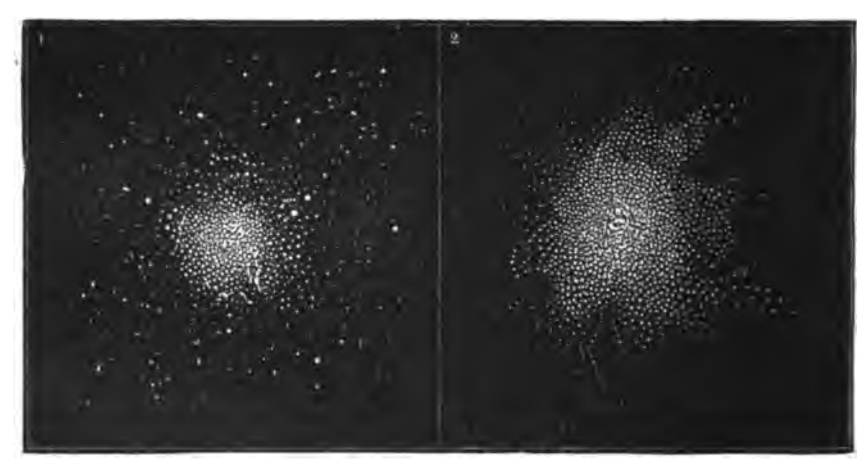


Fig. 306. Sternhaufen, 1 in der Wage, 2 im Herkules.

Wollen wir Refraktoren und Reflektoren miteinander ihrem Prinzip nach vergleichen, so können wir sagen: es gehören die Spiegelteleskope mit den Keplerschen, sowie den aus dem letzteren durch Einschaltung eines umkehrenden Okularsystems hervorgegangenen terrestrischen Fernrohren zu einer Klasse von Instrumenten, bei welchen nämlich sich ein reelles Bild wirklich erzeugt, das durch eine vergrößernde Linse betrachtet wird, während das holländische Fernrohr mit seiner Zerstreuungslinse eine andre vertritt.

Als Linsen werden bei allen Fernrohren sowohl plankonvexe als bikonvexe Gläser genommen, im ersteren Falle dann mit der flachen Seite nach außen gestellt. Die Annäherung oder Entfernung des Okulars an das Bild, welche für verschiedene Augen verschieden ist, wird durch Verschiebung der ineinander gesteckten Röhrenteile bei gewöhnlichen Instrumenten mit der Hand, bei stark vergrößernden feineren Gläsern mittels einer Mikrometerschraube bewirkt, weil bei einem Okular von kurzer Brennweite schon eine sehr geringe Verrückung eine ziemliche Änderung in der Strahlenrichtung hervorbringen kann.

Bei dieser Gelegenheit sei noch einiges über die Gebäude, welche den Fernrohren zur Aufnahme und zum Schutze dienen, über die „Sternwarten“, bemerkt. Zwischen den einfachen Beobachtungsräumen früherer Zeit, insbesondere bei den alten Völkern und den heutigen, zeigt sich ein bedeutender Unterschied. Schon die Wahl des Ortes für die Sternwarte ist

heute eine andre. Während man früher die hohe Lage einer Gegend ganz besonders geeignet hielt, kommt heute in erster Linie die Festigkeit des Bodens zur thunlichst sicheren Aufstellung der Instrumente, sowie namentlich die Dunkelheit der Umgebung in Betracht. Man richtete früher die Sternwarten der besseren Umsicht halber auf Türmen ein, wie uns die Fig. 302 zeigt und wie es noch 1790 in Leipzig der Fall war — die Sternwarte befand sich auf dem Turme der Pleißenburg — heute baut man sie niedrig an einem ruhigen abgelegenen Platz. In dieser Weise ist der Bau sämtlicher neueren Observatorien zu Wien, Pulkowa, Straßburg, Potsdam 2c. angeordnet. Die Sternwarte in letztgenanntem Orte dient vorzugsweise zu astrophysikalischen Untersuchungen und ist deshalb, außer mit den Hauptinstrumenten (Refraktor, Meridiankreis, Passageinstrument, Chronometern 2c.), besonders reich mit Spektralapparaten, photographischen und photometrischen Hilfsmitteln 2c. ausgerüstet. In jüngster Zeit hat R. Bischoffsheim in Paris in hochherziger Weise die Summe von $1\frac{1}{2}$ Millionen Frank zum Bau einer prachtvollen Sternwarte in Nizza gespendet. Die im Bau schon vollendete Sternwarte, welche auf unserm Tonbilde dargestellt ist, umfaßt ein Areal von 350000 qm, und dieser ungeheure Raum gestattet, den sehnlichsten Wunsch der heutigen Astronomie zu verwirklichen, nämlich für jedes größere Instrument ein besonderes Gebäude zu errichten. Unter demselben zieht eine gewaltige Kuppel, die auf einem viereckigen Steinbau von 26 m Länge ruht, zunächst den Blick auf sich. Sie wird einen Refraktor von 70 cm Objektivdurchmesser und 16 m Brennweite aufnehmen, dessen Gläser die Gebrüder Henry in Paris herstellten.

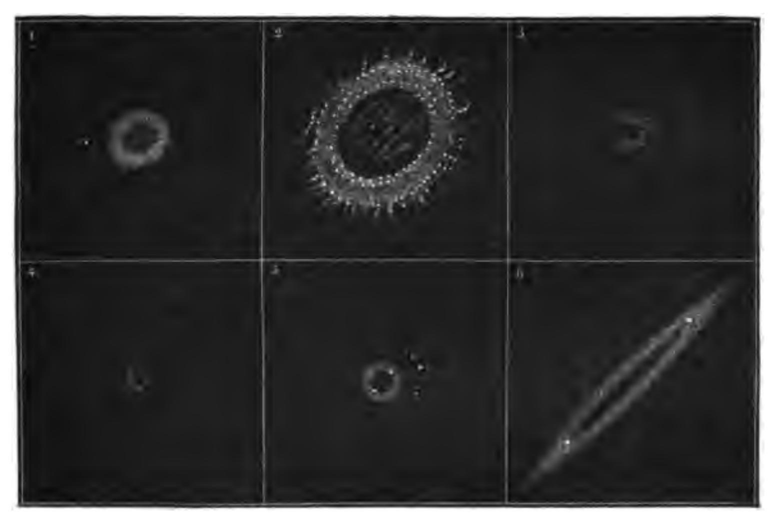


Fig. 307. Ringförmige Nebel in der Leier (1 nach Herschel, 2 nach Rosse), im Schwan (3), im Ophiuchus (4), im Skorpion (5), bei Gamma in der Andromeda.

Bedeutung des Fernrohrs. Über den Nutzen des Fernrohrs etwas zu sagen, erscheint bei einem Instrumente, das jetzt in jedermanns Händen ist, fast überflüssig. Nicht nur dem Reisenden ist es ein unentbehrliches Instrument, wenn er sich mit dem Charakter der zu durchwandernden Gegenden im voraus bekannt machen will; aus der freien Natur hat sich der Gebrauch des Fernrohrs in den geschlossenen Raum der Theater, der Museen und Galerien verpflanzt. Und wie hier zum Vergnügen der Menschen, dient es weit höheren Zwecken, nicht nur auf den Sternwarten zur Erforschung des Himmels und der im ewigen Raume kreisenden Gestirne, sondern auch tief unten im engen Schacht beobachtet der Physiker mit seiner Hilfe die Schwingungen des horizontalen Pendels, um daraus Masse und Dichtigkeit der Erde zu berechnen. Die feinen Ausschläge der Magnetnadel, welche die täglichen Schwankungen des Erdmagnetismus verursachen, können in ihren ungemein geringen Unterschieden nur durch das Fernrohr genau beobachtet und gemessen werden. In ihm verrät sich das Nordlicht, welches gleichzeitig viele Hundert Meilen entfernt am Polarhimmel aufzuckt, ebenso wie sich anderseits die Zeitdauer noch bestimmen läßt, welche das Licht braucht, um von dem Objektivglase bis zum Okular zu gelangen; denn in der That ist von Bradley auf diesem kurzen Wege die Geschwindigkeit des Lichtes gemessen worden. Die meisten und die sublimsten Maßmethoden der Naturforscher sind auf die Mitwirkung des Fernrohrs gegründet, und ohne seine Erfindung — das können wir geradezu behaupten

— wäre unser heutiger Kulturzustand nicht möglich geworden. Allerdings war mit dem Ende des 16. Jahrhunderts schon der richtige Weg zur Naturforschung eingeschlagen, allein aus Beobachtungen und Experimenten lassen sich, wenn dieselben nicht untereinander quantitativ bestimmt, auf eine allen gemeinsame Einheit zurückgebracht, gemessen werden können, wohl Hypothesen ableiten, aber keine Gesetze bestätigen. Die zu Grunde liegende fruchtbare Idee ist nur durch Maß und Gewicht dem Verborgenen zu entlocken, dazu aber ist das Fernrohr eines der trefflichsten Hilfsmittel geworden.

Es lag in der Natur der Sache, daß die Erfolge der neuen Erfindung zunächst der Astronomie und Geographie zu gute kommen mußten: hier diente das Fernrohr in seiner einfachsten Gestalt als Beobachtungsmittel, viel später erst wurde es als Hilfsmittel mit andern Apparaten verbunden, deren Resultate dadurch auf die höchste Stufe der Genauigkeit gehoben wurden. Und wenn der volle Einfluß, den seine Anwendung in der letztgedachten Art ausgeübt hat, nur den mit der Physik und ihren Methoden ganz Vertrauten ersichtlich werden kann, so zeigt sich das förmliche Vorwärtsgeschleudertwerden aller astronomischen Disziplinen durch das Fernrohr selbst dem Minderbewanderten auf den ersten Augenblick.

Wir dürfen uns nur überlegen, von welchem Umfange die Kenntnis des Himmels zur Blütezeit des Ptolemäos war, welche Fortschritte sie von da bis zum Ausgange des 16. Jahrhunderts gemacht hatte, und auf welcher Stufe sie jetzt, nach einem viel geringeren Zeitraume, steht. Abgesehen davon, daß die theoretische Astronomie nur zum Teil — freilich zu einem sehr wesentlichen Teil — in ihrer Ausbildung, die sie durch Kepler, Galilei, Newton, Huyghens, Laplace, Olbers, Gauß und zahlreiche andre erfahren, von dem Gebrauche des Fernrohrs unterstützt worden ist, haben sich seit drittehalb Jahrhunderten die Ergebnisse der beobachtenden Astronomie zu einem vorher ungeahnten Reichtume aufgespeichert. Die Fortschritte in den anderthalbtausend Jahren vor der Erfindung des Fernrohrs beschränkten sich so ziemlich darauf, das Ptolemäische Fixsternverzeichnis zu vervollständigen.

Man kannte sieben Planeten; einzelne bedeutendere Kometen erschreckten die Gemüter durch ihr seltenes und unvermutetes Erscheinen, die Milchstraße war ein unerklärlicher Nebel.

Trotzdem hatten Scharfsinn und Fleiß die geringen Mittel trefflich verwertet und in den Keplerschen Gesetzen und dem Kopernikanischen System die damaligen Erfahrungen in der bestmöglichsten Art ausgebeutet. Aber damit war auch das Höchste geleistet, und selbst diese bedeutenden Reformen bedurften noch sehr der Bewahrheitung durch unmittelbare Anschauung und genaue Messung.

Durch die Entdeckung der Phasen des Jupiter, Merkur und der Venus, eine der ersten Thaten des mit seinem Fernrohr den Himmel durchmusternden Galilei, erhielt die Lehre von der feststehenden Sonne eine unverrückbare Begründung. Das Fernrohr rückte die Grenzen der Himmelserkenntnis plötzlich in unendliche Fernen, denn dem rasch vervollkommten Instrumente schien auch das Unsichtbare seine Gesetze verraten zu müssen. Die Milchstraße löste sich in einzelne Sterne auf, die Nebelflecke erwiesen sich als große Gestirnhaufen.

Man hatte bisher sechs Sterngrößen angenommen, jetzt sah Galilei an vorher für ganz leer gehaltenen Stellen des Himmelsgewölbes unzählige neue Welten. Er faßte sie als siebente Sternengröße zusammen, welche er „die Erste der unsichtbaren Dinge“ nannte. Im Orion entdeckte er über 500 neue Sterne und mehr als 36 in den Plejaden, wo man sonst ihrer nur sieben erkannt hatte. Und zurückkehrend aus dem weiten Raume in unser Sonnensystem, beobachtete er zuerst die Sonnenflecken, aus deren Veränderung er auf eine Umdrehung der Sonne um ihre eigne Achse schloß. „Die Zahl der Kometen am Himmel ist größer als die der Fische im Meer“, rief Kepler, der mit seinem neu erfundenen Fernrohr überrascht die Menge dieser Gestirne erkannte. Aus der verschiedenen Art der Beleuchtung des Mondes schloß man bald auf Berge, Thäler, Meeresbecken. Den Früheren war der Begleiter unsrer Erde nichts als eine leuchtende Kugel mit einigen dunklen Flecken gewesen, welche das deutungslustige Gemüt des Volkes zur Fabel vom Manne im Monde verarbeitete — heute haben wir von dem uns zugewandten Teile seiner Oberfläche genauere Karten als von der Hälfte des Festlandes der Erde. Statt der elf Planeten, welche vor dreißig Jahren noch in der Schule gelehrt wurden, kennt man jetzt in das dritte Hundert, so daß die mythologischen Namen zu ihrer Bezeichnung nicht ausreichen und man zur Bezifferung seine Zuflucht nehmen muß. Ein ganzes Heer solch kleiner Wandelsterne

schwebt zwischen den Bahnen des Mars und des Jupiter, und trotzdem, daß viele dreimal so weit von der Sonne abstehen als die Erde, der Durchmesser der kleinsten aber kaum zehn Meilen beträgt, sind sie von der immer stärker werdenden Kraft der Fernrohre entdeckt, die Elemente ihrer Bewegung auf das genaueste gemessen und ihre Geschwindigkeiten, Massen und Dichtigkeiten berechnet worden. — Es würde den Raum weit überschreiten heißen, wenn wir uns in die Einzelheiten astronomischer Beobachtungen verlieren wollten; allein es mag uns erlaubt sein, durch einige Abbildungen zu zeigen, wie einzelne Stücke des Makrokosmus dem bewaffneten Auge erscheinen, und welch andre Ansichten wir von der „großen Welt“ gewonnen haben, als alle Zeiten vorher besaßen.

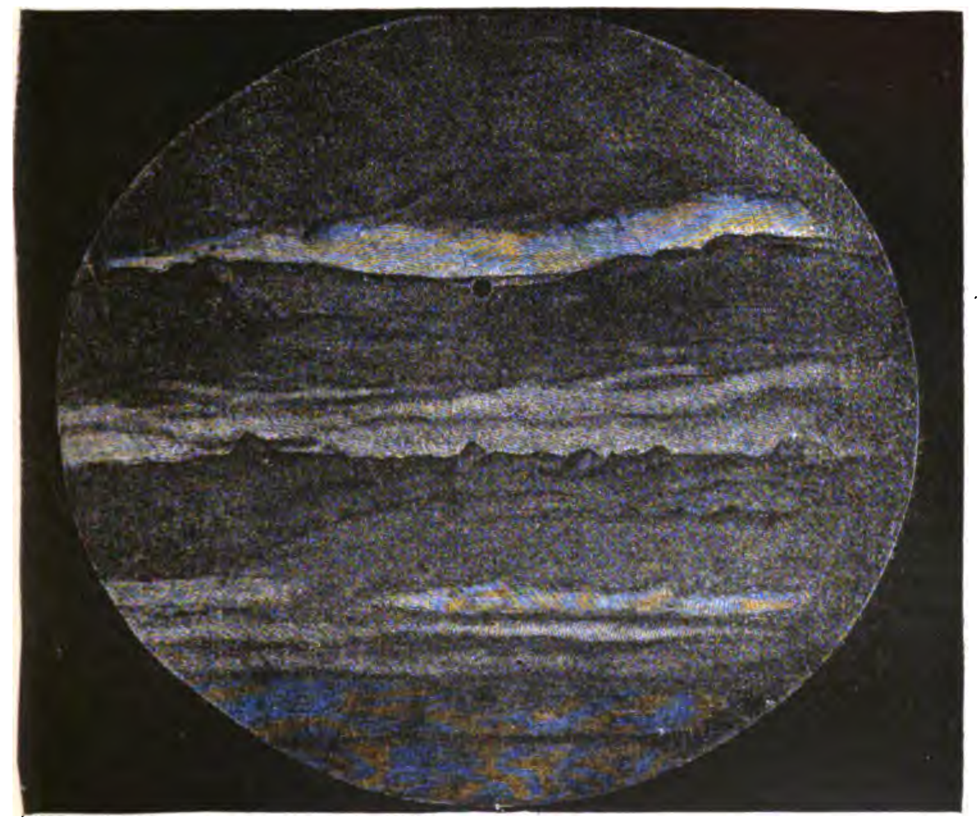


Fig. 308. Die Scheibe des Jupiter im Teleskop.

Wenn wir bei ab- oder zunehmendem Monde die beleuchtete Sichel mit einem guten Fernglase betrachten, so werden wir verwundert über die Pracht des Anblicks sein. Der stark beleuchtete äußere Rand des Mondes geht nach innen zu in immer matter beleuchtete Striche über; wir empfinden, daß wir keine flache Scheibe, sondern einen gerundeten Körper vor uns haben, der von einer Seite her sein Licht empfängt, mit dem größten Teile aber für uns im Schatten liegt. Das beleuchtete Stück aber macht nicht den Eindruck einer gleichmäßigen Fläche: wir sehen darauf helle und dunkle Partien, große ebene Flecken von minder hellem Glanze, daneben wieder durch besonders lebhaftes Licht hervortretende scharfe ringförmige Zeichnungen im Innern mit dunkel beschatteten Partien, und nach dem Zentrum der Mondsichel hin zeigen sich diese Lichtringe und einzelnen Lichtpunkte von immer kräftigerem Kontrast. — Es gehört gar keine Phantasie dazu, um den merkwürdigen Anblick dahin zu deuten, daß wir einen Weltkörper von mannigfach gestalteter Oberfläche vor uns haben. Es rufen sich uns augenblicklich die Erinnerungen jener Eindrücke zurück, welche wir bei Sonnenaufgängen angesichts hoher Gebirge gehabt haben. Wir sehen die hell erleuchteten Gipfel sich von den noch im Düster der Nacht begrabenen und beschatteten Gründen strahlend abheben,

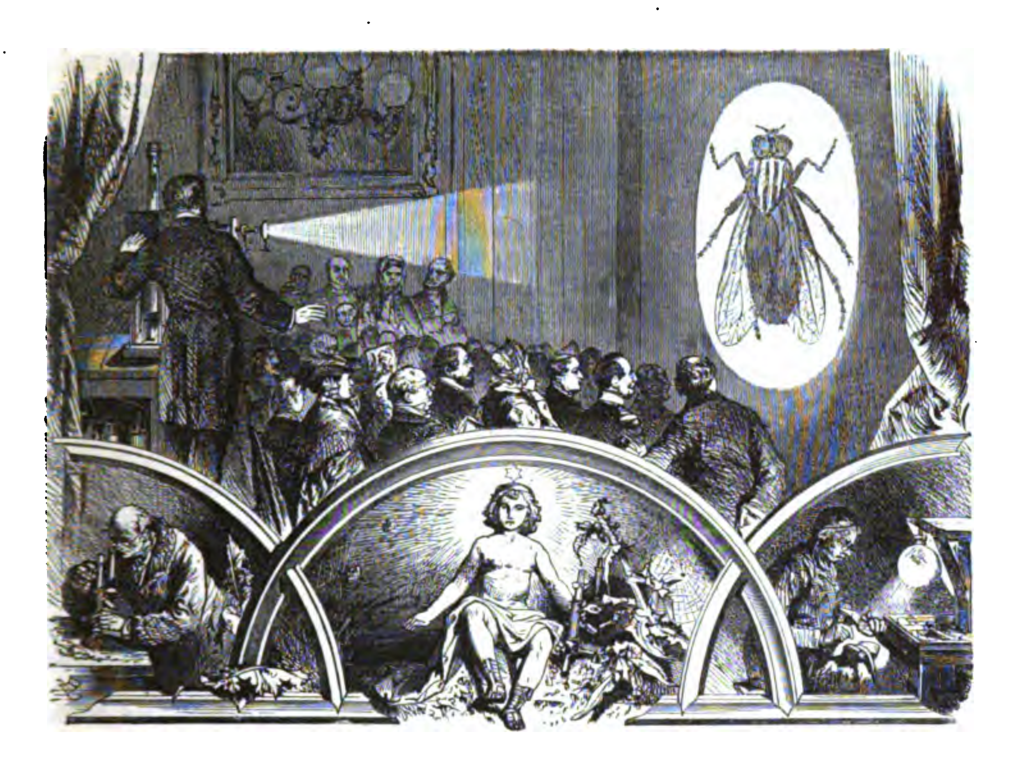
so daß sie förmlich isoliert erscheinen, und finden in den von der Sonne abgewendeten, besonders dunklen Stellen hinter den Lichtringen des Mondes die tiefen Schatten wieder welche hoch aufgetriebene Massen in die zurückgebliebenen Niederungen zurückwerfen. Wir sehen in große Kessel hinab, von hohen, schroffen Wällen umgeben, die uns an platzende und während des Platzens erstarrte Blasen erinnern. Wir unterscheiden die höheren Erhebungen von den niedrigen durch die Länge der Schatten, die sie werfen, und sehen aus der schon im völligen Dunkel liegenden Scheibe die höchsten Kuppen noch als einzelne hell leuchtende Punkte auftauchen. Galilei schon hat die Schattenlängen als einen Maßstab für die Höhen der verschiedenen Gebirge — denn Gebirge, und zwar vulkanische Gebirge, erloschene Krater sind die ringförmigen Wälle — angegeben und selbst die Größen der Erhebung berechnet, und durch wiederholte Messungen hat man jetzt einzelne Berge, wie den Mondberg Calippus (5050 m = 15516 Pariser Fuß hoch) oder den Huyghens (4760 m = 14652 Fuß), wahrscheinlich der Wahrheit viel näher kommend bestimmt, als es mit dem Chimborazo auf unsrer Erde gelungen ist.

Während Fig. 304 ein Stück der Mondsichel zeigt, gibt uns Fig. 305 die Ansicht einer mit Hilfe eines stärker vergrößernden Fernrohrs aufgenommenen Mondlandschaft.

Den eigentümlich gebildeten Saturn haben wir unsern Lesern schon früher im Bilde vorgeführt. In Fig. 308 geben wir dazu noch die Ansicht, welche der Jupiter in einem stark vergrößernden Fernrohr gewährt. Wir sehen den Planeten, der unserm unbewaffneten Auge am Himmel nur als ein leuchtender Fleck erscheint, mit zonenartig gelagerten Wolken überzogen, deren besondere Gestalt nach gewisser Zeit wiederkehrt und uns eine Umdrehung des Sternes um seine Achse beweist. Nach genauen Beobachtungen derselben beträgt ein Jupitertag von Mittag zu Mittag 9 Stunden 55 Minuten 26 Sekunden unsrer Zeit. Wir vermögen die Abplattung der Jupiterkugel, welche ihr eine ähnliche an den Polen eingedrückte Gestalt zuweist, wie sie unsre Erde besitzt, zu erkennen und zu messen. Die Monde sehen wir um ihren Planeten kreisen und unsre Abbildung zeigt uns den dunklen, kreisförmigen Schatten, den der auf der linken Seite vor dem Jupiter stehende Mond auf dessen beleuchtete Scheibe wirft. Daraus, daß dieser Schatten tief schwarz ist, folgern wir, daß der Jupiter selbst kein eignes Licht besitzt, während der Umstand, daß die Monde selbst bisweilen als heller glänzende, bisweilen als dunklere Punkte sich auf der Scheibe ihres Planeten abzeichnen und daß ihr Schatten oft größer erscheint als sie selbst, die Annahme von einer atmosphärischen Umhüllung des Jupiter wahrscheinlich macht. Und wenn wir weiter die Forschungen der Astronomen vergleichen wollten, nur im bezug auf den einen Planeten, durch dessen Beobachtung der große Galilei das neu erfundene Fernrohr weihte und das ihm zu Danke am ersten Tage fast die schönste Entdeckung, die der Jupitermonde, darbot — wir würden bewundernd staunen über die Aufschlüsse, welche sie uns auf Fragen geben, die wir in solcher Feinheit oft selbst in betreff des Planeten, den wir bewohnen, vergebens aufstellen würden.

Bei allen Gestirnen unsres Sonnensystems können wir die körperliche Gestalt wahrnehmen, aber selbst die vieltausendfach vergrößernden Fernrohre sind nicht im stande, die Fixsterne anders denn als leuchtende Punkte, ohne scheinbaren Durchmesser, erkennen zu lassen. Und wenn wir einen jener blassen Lichtnebel betrachten und immer stärkere und stärkere Ferngläser darauf richten, so können wir doch nur immer neue und immer mehr einzelne Lichtpunkte daraus sondern, die jeder eine Sonne, eine Welt für sich sind. Die Form ihrer Gesamtheit aber eröffnet, wenn wir sie in Vergleich mit bekannten Kräftewirkungen bringen wollen, unsern Vorstellungen ein Gebiet von Aktionen, so gewaltig, daß nur das Bewußtsein strenger Gesetzmäßigkeit eine Basis ist, welche unsern Gedanken Sammlung geben kann.

Sehen wir die verschiedenen, in Fig. 307 dargestellten Nebel an. Welche Ideen von sich bildenden Welten, von Massenanziehung, von Rotationswirkungen und ähnlichen Fundamentalereignissen steigen in uns auf! Dürfen wir diese Formen mit dem Saturn vergleichen oder ist nicht noch das Sonnensystem, welchem wir angehören, ein Stäubchen gegen jene Herden von Welten? — und sollen wir es wagen, durch jene unfaßbaren Räume die Äußerungen von Kräften als zusammenhaltend, ordnend und gestaltend anzunehmen, welche die kleinsten, an der Grenze des Verschwindens stehenden Atome aneinander zieht?



> Und es ist das ewig Eine,
> Das sich vielfach offenbart;
> Klein das Große, groß das Kleine,
> Alles nach der eignen Art.
>
> Goethe.

Das Mikroskop.

Eine neue Welt. Das einfache Mikroskop. Brillen und Vergrößerungsgläser. Leeuwenhoeck. Das Sonnenmikroskop, erfunden von Lieberkühn. Das zusammengesetzte Mikroskop und seine Einrichtung. Chevaliers Mikroskop und das Mikroskop für mehrere Beobachter. Geschichtliches über die Erfindung und ihre Vervollkommnung. Zacharias Jansen und Galilei. Gebrauch des Mikroskops. Was man damit sieht.

Nach zwei ganz entgegengesetzten Richtungen der Natur hin sind uns die linsenförmig geschliffenen Gläser zu Schlüsseln geworden. Das Teleskop führt unsre Augen durch den unendlichen Raum weiter und immer weiter. Das Mikroskop enthüllt uns im Engsten, Kleinsten dieselben Gesetze, zeigt uns das Walten derselben Kräfte, die das Universum zusammenhalten, wunderbare Formen, die das Geheimnis der Harmonie bis zum Atome verfolgbar scheinen lassen, wie es dem begeisterten Kepler im Tanze der Sphären sich offenbarte.

Um uns herum zwei Welten — eine unendlich große und eine unendlich kleine, und wir an der Schwelle zwischen beiden. Aber verlangend versucht der Geist jenseit der Grenzen zu forschen und schlägt Brücken durch die Luft, auf denen er hinübergeht, um Geahntes und Ungeahntes in der Nähe zu schauen. Und Teleskop und Mikroskop sind zwei solche Brücken — Wege durch reizende Gefilde voll neuer und immer neuer Wahrnehmungen, den glücklich Wandernden in unabsehbare Fernen führend, aus welchen ihm kein versteinerndes Halt entgegenschreckt.

Wo heute ein Horizont sich aufbaut, darüber schreitet morgen der Mensch an der Seite Minervens, der Göttin fruchtbringender Wissenschaft. Sie lehrt das Gesetz zugleich mit

seiner nützlichen Anwendung, und dieselbe Hand, welche dem Forscher die Bahn zeigt, schmiedet den kunstreichen Schild in der Esse des Vulkan. Man kann nicht sagen, ob wir mehr den mechanischen Künsten oder der wissenschaftlichen Erkenntnis in der Herstellung der unendlich bedeutungsvollen Instrumente Teleskop und Mikroskop verdanken. Hier ist die Technik Wissenschaft und die Weisheit erwächst aus der Kunst.

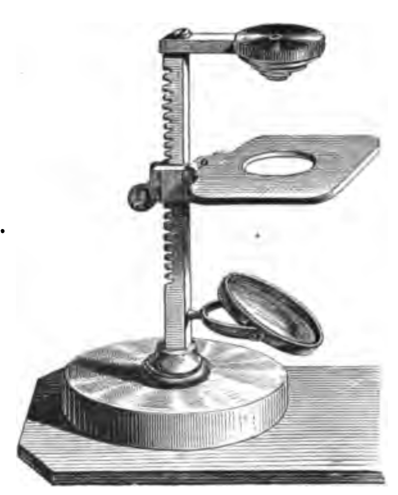
Im Ursprunge ist die Erfindung des Mikroskops eine viel ältere als die des Fernrohrs, aber doch haben erst die letzten drittehalb Jahrhunderte gewisse längst bekannte Erscheinungen der Vergrößerung einem höheren wissenschaftlichen Zwecke zuführen können. Und wenn wir die Entdeckungen auf dem Gebiete der organischen Natur im Gegensatz zu der früheren rohen Naturanschauung heute betrachten, so können wir wohl sagen, daß das Mikroskop uns um vieles wichtiger ist als die Erfindung des Fernrohrs. Während dieses im Grunde nur die Bestätigung schon erkannte oder aus irdischen Verhältnissen abzuleitender Gesetze brachte, führte jenes den Forscher in eine neue Welt, in die geheime Werkstatt der Natur, in die Welt der organischen Veränderungen, wenn nicht des Werdens, so doch des Wachsens.

Das einfache Mikroskop. Die gewöhnliche Konvexlinse ist insofern schon ein Mikroskop, weil das Bild, wenn wir durch sie hindurch ein Objekt betrachten, größer als der Gegenstand selbst ist. Die früheren Hilfsmittel der Vergrößerung beschränkten sich auch lediglich auf dies einfache Instrument, welches, aus Glas geschliffen, in eine Fassung von Horn oder Messing gebracht und Lupe genannt wurde. Je größer die Krümmung der Linse ist, um so bedeutender ist ihre vergrößernde Kraft, und in den sogenannten Glastropfen oder Vogelaugen benutzt man als Vergrößerungsgläser geradezu kleine kugelförmige Glaskörperchen.

Obwohl schon Seneca der Wahrnehmung gedenkt, daß man durch hohle, mit Wasser gefüllte Kugeln die dahinter befindlichen Gegenstände größer und deutlicher sieht, und obgleich eine Anzahl andrer Nachweise aus dem Altertume vorhanden sind, daß man die vergrößernde Kraft sphärischer Glaskörper oft beobachtet hatte, so scheint doch eine bewußte Anwendung von dieser Erscheinung erst ziemlich spät gemacht worden zu sein. Die merkwürdig feinen und zierlichen Arbeiten alter griechischer Steinschneider könnten uns zwar veranlassen, anzunehmen, daß sie mit Hilfe von Vergrößerungsgläsern ausgeführt worden seien. Allein wir finden im ganzen Altertume keine Belege dafür; denn die ausgegrabenen Linsen können ebenso gut ausschließlich als Brenngläser gedient haben, da die vestalischen Jungfrauen das heilige Feuer, wenn es verlöscht war, nur durch das Sonnenlicht wieder entzünden durften. Der Araber Alhazen um die Mitte des 11. Jahrhunderts war wohl der erste, welcher eigentliche Linsen aus Kugelsegmenten als Vergrößerungsgläser anwandte. Merkwürdig aber bleibt, daß an diesen Fortschritt sich keine weiteren Erfolge knüpften. Es kam dies hauptsächlich mit daher, daß Alhazen und auch Spätere noch ihre Gläser direkt auf die Buchstaben der Schrift legten, welche sie vergrößert sehen wollten, und daß es ihnen vollständig entgangen zu sein scheint, wie ein bei weitem günstigerer Erfolg erzielt werde, wenn man die Linsen etwas entfernt von dem zu beobachtenden Gegenstand vor das Auge hält.

Mit der Erfindung der Brillen aber im 13. Jahrhundert wurde die Linsenschleiferei zu einem Gewerbe, welches sich rasch über alle Länder ausbreitete, und es konnte dabei nicht unterbleiben, daß mit den nun häufig gewordenen Gläsern mancherlei Versuche absichtlich oder unabsichtlich gemacht wurden, welche Verbesserungen an den Lupen hervorriefen. Man gab den Gläsern größere Krümmungen und benutzte auch schon zwei oder drei Linsen gleichzeitig miteinander, welche so nahe übereinander angebracht wurden, daß beide in derselben Weise wirken, indem sie die Strahlen immer mehr konvergierend machten. Dergleichen Linsenkombinationen nennt man einfache Mikroskope. Sie erhalten gewöhnlich eine Fassung von Messing und werden zu zwei, drei oder mehr beweglich miteinander an einem Stativ angebracht, damit man ihre Wirkung, einzeln oder miteinander kombiniert, beliebig zu benutzen vermag. Die Vergrößerung solcher Instrumente kann ziemlich weit getrieben werden. Man hat Linsen geschliffen, welche eine dreihundertfache Linearvergrößerung ergaben, und mit den zu gleichen Zwecken dargestellten Glastropfen

konnte man dieselbe sogar auf das Achthundertfache steigern. Es war aber damit der Übelstand verknüpft, daß in gleicher Weise, wie sich die Kraft vergrößerte, das Gesichtsfeld sich verringerte. Was man jedoch zur Verbesserung der kleinen Instrumente immer thun konnte, geschah, und so wurden sie bald zu einer Vollkommenheit gebracht, welche ihre Verwendung zu wissenschaftlichen Zwecken gestattete. Die ersten Apparate waren allerdings mehr Kuriositäten, sogenannte Floh- oder Mückengläser, und es wird erzählt, daß der seiner Zeit hochberühmte Naturkundige Scheiner, als er auf einer Reise in einem tiroler Dorfe gestorben war, noch einen großen Aufruhr unter Bauern und Geistlichkeit hervorrief. Man hatte nämlich in seinem Nachlasse ein merkwürdiges Glas gefunden. Als einer der Hinzugekommenen aus Neugierde in dasselbe hineinsah, erblickte er eine so schrecklich große und fürchterlich gebildete Gestalt vor seinen Augen, daß er, überzeugt, den Teufel gesehen zu haben, das Glas voller Furcht wegwarf. Ein andrer hob es auf und sah das Nämliche. Natürlich galt nun Scheiner für einen argen Zauberer und Hexenmeister, der den Teufel, in ein Glas gebannt, mit auf Reisen nahm — ihm sollte ein ehrliches Begräbnis versagt werden — aber als man eben noch über die Art verhandelte, wie man sich der unbequemen Leiche entledigen sollte, wurde das Glas geöffnet und der vermeintliche Teufel erwies sich als ein veritabler Floh, der, durch das linsenförmige Deckelglas angesehen, für die Bauern ungewöhnlich vergrößert worden war.


Fig. 310. Einfaches Mikroskop.

Dienten diese Instrumente, die man übrigens jetzt noch auf Jahrmärkten ausgeboten findet, meist nur einer gewöhnlichen Belustigung, so finden wir dagegen Leeuwenhoeck schon eifrig beschäftigt, mit selbstgebauten Apparaten den inneren Bau von Pflanzen und Tieren zu studieren, und seine vortrefflichen, nach der Natur gezeichneten Abbildungen sind der beste Beweis für die Vervollkommnung, welche er seinen Instrumenten zu geben verstanden hatte. Er hatte die Linsen an einem vertikalen Stativ befestigt und unter ihnen einen kleinen Objekttisch angebracht, den er mittels eines Schraubendrahtes auf die gehörige Höhe in den Brennpunkt der Linsen führen konnte. Außerdem vereinigte er damit schon einen Beleuchtungsapparat aus Hohlspiegeln, welcher durch einfallendes Licht den kleinen Objekten eine größere Helligkeit gab. Diese Beigaben sind von Späteren (Muschenbroeck, Hooke u. s. w.) beibehalten, mannigfach verändert und verbessert worden.

Das Sonnenmikroskop steht in seiner Einrichtung zwischen dem einfachen und dem zusammengesetzten Mikroskop. Während der gewöhnliche Lupenapparat nichts weiter bewirkt, als die von dem beobachteten Objekt ausgehenden Strahlen unter größerer Konvergenz in das Auge zu leiten, wird durch das Sonnenmikroskop ein reelles Bild hervorgerufen, welches, in gehöriger Entfernung aufgefangen, den Gegenstand zwar verkehrt, aber bedeutend vergrößert wiedergibt; bei dem zusammengesetzten Mikroskop wird ein im Innern des Rohres erzeugtes reelles Bild noch durch ein besonderes Okular, wie im Fernrohr, betrachtet.

Das Sonnenmikroskop ist ganz nach dem Prinzip der Zauberlaterne eingerichtet, nur daß an Stelle der Glasgemälde der zwischen zwei Glasplatten gebrachte und zu vergrößernde Gegenstand eingeschoben wird. Die Beleuchtung geschieht, wie schon der Name andeutet, durch direktes Sonnenlicht, das mittels eines Heliostaten einer Sammellinse zugeworfen und von dieser auf das Objekt konzentriert wird. Wenn das Sonnenlicht fehlt, so beleuchtet man mit Argandschen Lampen, Drummondschem Kalklicht oder Knallgas ꝛc. (Lampen- oder Hydrooxygen-Mikroskop). Es liegt in der Natur der Sache, daß die Bilder dieser Apparate keine Schärfe besitzen, wie sie für wissenschaftliche Untersuchungen notwendig ist; daher dient das Sonnenmikroskop auch nur zu allgemeinen Schaustellungen, bei

denen es Zweck ist, gewisse, dem unbewaffneten Auge unsichtbare Gegenstände, Blumenstaub, Schmetterlingsstaub, Kieselpanzer der Kreide, Kristallbildungen u. s. w., mehr im großen Ganzen auf überraschende Weise vergrößert vorzuführen, als einen klaren Einblick in die Beschaffenheit der kleinsten Einzelheiten dem Zuschauer zu verschaffen.

Man darf eigentlich bei dem Sonnenmikroskope von keinem besonderen Erfinder reden, denn seine Einrichtung war durch die ältere Zauberlaterne bereits gegeben, und in der Heranziehung der Sonnenstrahlen anstatt einer Lampenflamme zur Beleuchtung kann keine wesentliche Neuerung erblickt werden. Indessen schreibt man die Erfindung gewöhnlich dem Amsterdamer Lieberkühn zu, welcher die Bilder eines solchen Instruments, das er durch Fahrenheit, der 1736 starb, kennen gelernt haben soll, öffentlich zeigte, und durch die überraschenden, die Phantasie aufs höchste anregenden Effekte den mikroskopischen Untersuchungen wieder viele Freunde erweckte.

Das zusammengesetzte Mikroskop. Merkwürdig scheint es, daß das zusammengesetzte Mikroskop, trotzdem seine Erfindung ebenso alt ist wie die der einfachen Apparate mit kombinierten Linsen, so lange Zeit in seiner Verbesserung hinter diesen zurückblieb, so daß bis zu Anfang dieses Jahrhunderts fast alle wissenschaftlichen mikroskopischen Untersuchungen mit dem gewöhnlichen Linsenapparate gemacht worden sind. Der Grund, warum man dem auf so hohe Stufe der Vollkommenheit gebrachten einfachen Mikroskope den Vorzug gab, lag in der chromatischen Abweichung, in den farbigen Rändern, welche die Bilder des zusammengesetzten Mikroskops undeutlich machten, solange man noch nicht gelernt hatte, gute achromatische Linsensysteme herzustellen. Als man darin aber eine gewisse Fertigkeit erlangt hatte, war die Möglichkeit der stärkeren Vergrößerung, das größere Gesichtsbild und die Beseitigung der sphärischen Abweichung, welche bei den einfachen Linsen sich so stark bemerklich macht, daß fast nur die in unmittelbarer Nähe der Achse einfallenden Strahlen zu brauchen sind, eine genügende Veranlassung, um sich mit allem Eifer der Verbesserung des zusammengesetzten Mikroskops zuzuwenden. Das letztere unterscheidet sich, wie schon erwähnt, von dem einfachen dadurch, daß man zwei Systeme von Gläsern, ein Objektiv und ein Okular, miteinander vereinigt, so daß man also ein wirkliches, reelles Bild von dem beobachteten Gegenstande im Innern entstehen läßt, und dieses dann mit einer vergrößernden Okularlinse betrachtet. Wir dürfen uns nur der Einrichtung des Fernrohrs erinnern, um aus der nebenstehenden Abbildung (Fig. 311) augenblicklich über den dabei stattfindenden Vorgang klar zu werden. A B ist das zu beobachtende Objekt, dessen Bild durch das Objektiv C D in A' B' erzeugt werden würde, wenn nicht die dazwischen gelegte Kollektivlinse die Strahlen eher zur Konvergenz brächte und das Bild schon in B" A" hervorriefe. Die von da weitergehenden Strahlen werden nun durch das Okular G H dem Auge zugebrochen und bewirken durch ihre Konvergenz, daß das Bild, in deutliche Sehweite verlegt, in der Größe von A''' B''' erscheint.

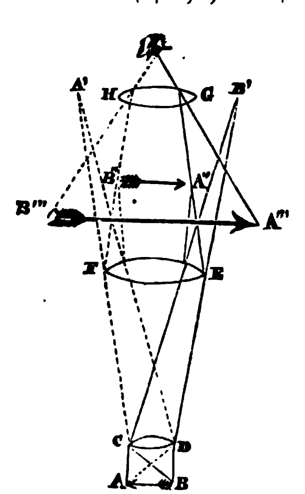


Fig. 311. Prinzip des zusammengesetzten Mikroskops.

Dies ist das Grundprinzip aller zusammengesetzten Mikroskope. Was auch die einzelnen Optiker für Abweichungen in der äußeren Herstellung ihrer Instrumente anbringen, so bleibt doch bei allen die Anordnung der Linsen dieselbe. Die Zahl der Gläser ist freilich oft eine viel größere als in unsrer Zeichnung, aber das kommt daher, daß man anstatt einer bikonvexen Linse lieber zwei plankonvexe anbringt; als Okular wendet man gewöhnlich das Campanische an (Fig. 288), als Objektiv setzt man mehrere Linsen hintereinander und erhält durch verschiedene Kombinationen derselben verschiedene Grade der Vergrößerungen. Außerdem verdoppelt sich aber die Linsenzahl dadurch, daß man für die besseren Instrumente jetzt lauter achromatische Gläser verwendet.

Fig. 312 stellt eine der gewöhnlichen Ausführungen dar, wie sie dem zusammengesetzten Mikroskope gegeben wird. Die Röhre T trägt die Hauptbestandteile desselben, die

Gläser, das Okular O' und das Objektivsystem O. Diese Röhre ist inwendig wie das Rohr eines Teleskops geschwärzt und an den betreffenden Stellen mit Blendungen versehen. Sie ist mit dem vertikalen Stativ verbunden und läßt sich mit Hilfe der Mikrometerschraube V um sehr feine Höhenunterschiede auf und ab bewegen, wodurch eine scharfe und genaue Einstellung über dem Objekte erfolgen kann.

Die annähernde Einstellung erfolgt vorher durch Verschieben in der Hülse, welche bei T die Röhre umschließt. Der zu beobachtende Gegenstand liegt auf dem Objektträger P, welch letzterer an der prismatischen Hülse angebracht ist, die sich über das Stativ schiebt und an diesem durch ein in eine Zahnstange greifendes Getriebe auf und ab bewegt werden kann. Der Objektträger P selbst ist ein kleiner Tisch, in der Mitte durchbrochen, damit das von dem stellbaren Hohlspiegel M zugestrahlte Licht den Körper beleuchten kann. Um nach Bedürfnis mehr oder weniger Licht zuzuführen, dient eine mit verschieden großen Öffnungen durchbrochene Blendung, welche man vor die Öffnung schiebt. Undurchsichtige Gegenstände beleuchtet man von oben durch eine Sammellinse.

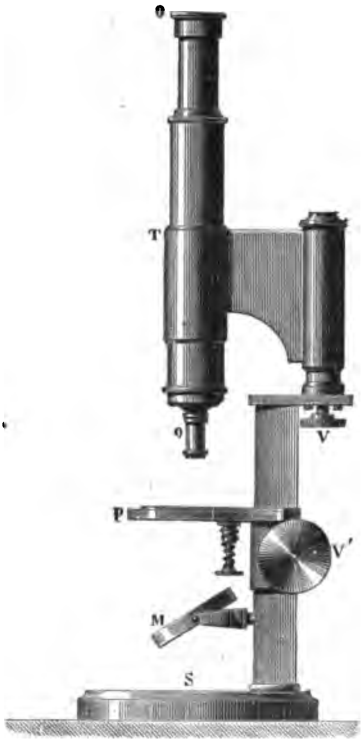


Fig. 312. Zusammengesetztes Mikroskop.

Chevalier hat eine Konstruktion angegeben, bei welcher die Strahlen durch die totale Reflexion, die sie an einem in dem Rohre a (Fig. 313) angebrachten Glasprisma erleiden, in horizontaler Richtung dem Okulare zugeworfen werden, so daß der Beobachter nicht von oben herab, sondern nur gerade vor sich hin zu sehen braucht. Mittels Einschaltung eines besonders geschliffenen Prisma ist es auch gelungen, Instrumente herzustellen, durch welche mehrere Personen zu gleicher Zeit ein Objekt beobachten können. Dieses Prisma ist über dem Objektivlinsensystem angebracht, wie bei dem Chevalierschen Mikroskop; jeder Beschauer hat sein eignes Okular (s. Fig. 314). Für die Diskussion der Beobachtung bei gemeinschaftlichen Untersuchungen und namentlich zu Unterrichtszwecken dürfte dies Arrangement gewisse Vorzüge haben, denn es gehört zum Betrachten mikroskopischer Objekte eine große Übung, ein unterscheidender Blick, den man sich erst erwirbt, nachdem er in der unbekannten Welt durch manches Luftbläschen, Stäubchen und dergleichen, die man anfangs leicht für ganz andre Gebilde ansieht, getäuscht worden ist. Die Unterweisung ist aber bei gleichzeitiger Betrachtung erleichtert.

Die Geschichte des Mikroskops fällt, wie wir schon erwähnt haben, in ihren ersten Ursprüngen mit der Geschichte der Linsen und mit der Erfindung der Brillengläser zusammen. Daß diese sehr weit in das Altertum zurückreicht, haben wir auch schon gesehen, und wenn der bekannte Smaragd des Nero wirklich ein Sehglas war, so würde dieser Umstand darauf hindeuten, daß man damals bereits mit der Herstellung und Wirkungsweise konkaver Linsen vertraut war, denn Nero wird uns von gleichzeitigen Schriftstellern als kurzsichtig geschildert. Übrigens finden wir aber selbst noch von Baco (gestorben 1392) nur konvexe Linsen erwähnt, die dieser den alten Leuten, welche an Fernsichtigkeit zu leiden pflegen, anempfiehlt. Die Erfindung der Brillen ist noch vor Bacos Zeit zu setzen; wahrscheinlich ist sie zu Ende des 13. Jahrhunderts durch Armati von Florenz gemacht und die Kenntnis davon durch Alexander von Spina weiter verbreitet worden. Die erste authentische Nachricht — „die neulich erfundenen Gläser, Brillen genannt, ein wahrer Segen für arme Greise mit schwachem Gesicht“ — stammt aus dem Jahre 1299. Eine so heilsame Erfindung mußte sich rasch in allen Ländern verbreiten, und schon zu Anfang

des 14. Jahrhunderts waren, wie Humboldt in seinem „Kosmos“ anführt, die Brillen zu Haarlem gar nichts Unbekanntes. Der große Bedarf rief eine neue Industrie, die Brillenschleiferei, hervor, die bald in jeder nur einigermaßen bedeutenderen Stadt betrieben wurde; in Holland namentlich, wo damals ein besonders reges Leben herrschte, war die Kunst eine vielgeübte, und die kleine Stadt Middelburg hat durch sie in der Geschichte der Erfindungen einen Namen ersten Ranges erhalten, denn nicht nur das Fernrohr, sondern auch das Mikroskop wurde in den Werkstätten dortiger Künstler erfunden. Man hat das Schicksal der beiden jungen Erfindungen oft miteinander verwechselt, und daher kommt es, daß wir denselben Prätendenten, welche die Erstlingsidee des Teleskops für sich beanspruchen, auch beim Mikroskop wieder begegnen.

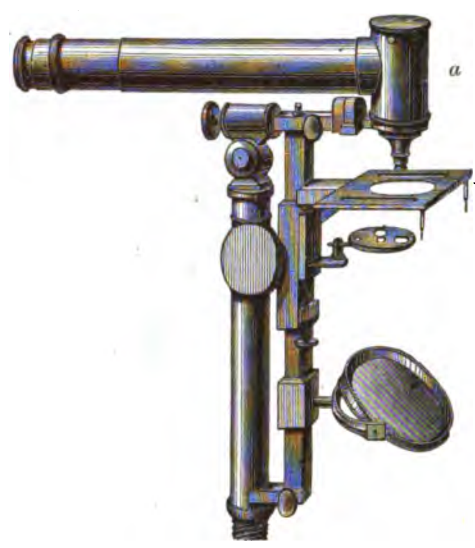
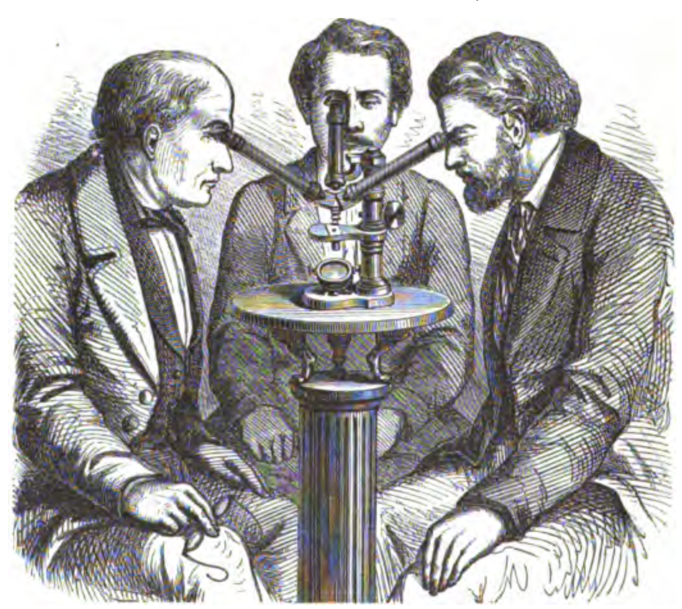


Fig. 313. Chevaliers Mikroskop.

Besonders aber sind Cornelius Drebbel aus Alkmar und Galilei, der eine von den Holländern, der andre von den Italienern, mit allen Ansprüchen der ersten Erfindung ausgerüstet worden, beide aber, wie die letzten Untersuchungen ergeben haben, mit Unrecht. Denn es hat sich herausgestellt, daß aus der Werkstatt des zwar immer mitgenannten, aber nur in sagenhafter Form erwähnten Middelburger Brillenmachers Jansen das erste Mikroskop zu Ende des 16. Jahrhunderts (wahrscheinlich schon 1590) hervorgegangen ist. Die bei Gelegenheit des Fernrohrs schon erwähnten gerichtlichen Nachforschungen, welche Willem Boreel, der sich selbst einen Spielkamerad von Zacharias Jansen, dem Sohne von Hans Jansen, nennt, anstellen ließ, um aus dem schon beginnenden Erfinderstreit seiner Vaterstadt Middelburg die Ehre zu retten, ergaben, daß lange vor der Erfindung Lippersheys in der Familie der Jansen ein zusammengesetztes optisches Glas erfunden worden war, welches, wie auch das Fernrohr, damals kurzweg Augenglas oder Brille genannt wird, seiner Beschreibung nach aber nichts andres als ein zusammengesetztes Mikroskop war. Die Unbestimmtheit der Benennung ist denn auch die Ursache geworden, daß bald die beiden Jansen als Erfinder des Fernrohrs, bald Lippershey als erster Darsteller des Mikroskops angesehen wurden.


Fig. 314. Mikroskop für drei Beobachter.

Ein solches, vielleicht das erste, überreichte Jansen dem Prinzen Moritz von Nassau und erhielt dafür eine Belohnung. Als Boreel 1619 in England als Gesandter war, sah er beim Hofmathematiker Cornelius Drebbel ein ebensolches Instrument, welches dieser, wie er selbst sagte, zum Geschenk vom Erzherzog Albert erhalten hatte. Dieses Mikroskop bestand aus einer 1 cm weiten Röhre von vergoldetem Kupfer, getragen von drei messingenen Delphinen, welche auf einer Scheibe von Ebenholz, auf der sich zugleich die Vorrichtung zum Festhalten der zu betrachtenden Gegenstände befand, befestigt waren. Es ist aber nachweislich auch dem österreichischen Prinzen von Jansen ein Mikroskop geschenkt worden und jedenfalls dasselbe mit dem Drebbelschen Instrumente identisch. Auch nimmt es denjenigen, welcher die Gesinnung der Menge kennt, an eine glänzende Stellung gern hohe Eigenschaften zu knüpfen, das Unscheinbare dagegen als wertlos zu achten, nicht wunder, wenn von der öffentlichen Meinung der weitbekannte, hochstehende Gelehrte als Erfinder der Mikroskope gepriesen wird, die er nach dem Jansenschen Modelle anfertigte und unter seiner weitverbreiteten Bekanntschaft verteilte. Des geringen Middelburger Brillenmachers gedachte niemand.

Ein Verwandter des Drebbel, Jakob Kuppler aus Köln, kam 1622 nach Rom und wollte, unter Bezugnahme auf das neue, wundervolle Instrument, am päpstlichen Hofe vorgestellt sein. Er starb jedoch, ehe er Gelegenheit gefunden hatte, das Mikroskop daselbst bekannt zu machen.


Fig. 315. Zacharias Jansen.

Von Paris aus wurden nun andre Mikroskope nach Rom gesandt, allein man war dort mit der neuen Erfindung so unbekannt, daß es erst nach Galileis Ankunft gelang, die Objekte klar zu sehen. Diese Instrumente sind es höchstwahrscheinlich, welche Galilei nachmachte und nach denen er das Mikroskop, das er 1624 an Bartholomeo Imperiali nach Genua sandte, zusammensetzte. Galilei soll zwar bereits im Jahre 1612 ein Mikroskop an den König Sigismund von Polen geschickt haben, es ist aber nirgends erwähnt, von welcher Zusammensetzung und Wirkung der Apparat gewesen sei, und außerdem ist von diesem oder einem ähnlichen Galileischen Instrument bis 1624 nicht mehr die Rede. In dem letzteren Jahre, heißt es, habe er das Mikroskop bedeutend verbessert und dann eine große Anzahl derselben angefertigt.

Daraus scheint zur Genüge hervorzugehen, daß ihm an dieser Erfindung ebenso wie an der des Fernrohrs kein andrer Ruhm als der, die weitere Bekanntschaft und den Gebrauch derselben vermittelt zu haben, zuerkannt werden kann.

Dieser Ruhm wird aber zu einem bedeutenden durch den Eifer, mit welchem die Wissenschaft in Italien das neue Instrument bei ihren Forschungen verwandte, so daß durch den häufigen Gebrauch Veranlassung zu mannigfachen Verbesserungen gegeben wurde. Francesco Stelluti hatte schon 1625 die Anatomie der Honigbiene mikroskopisch untersucht; Marcello Malpighi in Bologna wies die Zirkulation des Blutes in den Haargefäßen der Schwimmhaut des Frosches nach; der Optiker Divini setzte an Stelle einer bikonvexen Okularlinse zwei plankonvexe Gläser, die sich mit der Mitte ihrer gekrümmten Oberfläche berührten; dadurch wurde die sphärische Abweichung bedeutend verringert; Campani erfand das nach ihm benannte Okular.

In England gab **Robert Hooke** 1665 seine Mikrographie, Beobachtungen über die Struktur einzelner Teile des pflanzlichen und tierischen Körpers, heraus, die er mit selbstverfertigten Instrumenten gemacht hatte. Sein Mikroskop bestand aus einer vierteiligen, ineinander zu schiebenden Röhre, in welcher sich Objektiv, Kollektiv und Okular befanden. Mittels einer Schraube konnte es dem zu beobachtenden Gegenstande ganz allmählich näher geführt werden. Übrigens hat schon Galilei seinen Instrumenten bewegliche Röhren gegeben. Nach Hooke verdienen in der Geschichte mikroskopischer Untersuchungen die Engländer **Henschaw** und **Nehemias Grew** genannt zu werden. In Deutschland hat sich um die Vervollkommnung der Mikroskope **Sturm** in Nürnberg besonders dadurch verdient gemacht, daß er, um sphärische und chromatische Abweichung zu vermeiden und möglichst scharfe und farbenfreie Bilder hervorzubringen, das Objektiv zuerst aus zwei kombinierten Linsen, entweder aus zwei bikonvexen oder aus einer plankonvexen und einer bikonvexen, zusammenstellte. Er erreichte indes seinen Zweck nicht nach Wunsch, und infolge der genannten Mängel, die auch durch die von Huyghens vorgeschlagenen Linsen von großer Brennweite nur zum Teil beseitigt wurden, blieb eben der einfache Lupenapparat so viel in Aufnahme, während das zusammengesetzte Mikroskop von wenigen und fast nur versuchsweise in Anwendung gebracht wurde.

Die Verbesserungen an der mechanischen Einrichtung des zusammengesetzten Mikroskops bezogen sich hauptsächlich auf den Objektträger und den Beleuchtungsapparat. Die erstere wurde sehr bald nach der Hookeschen Idee mit einer feinen Schraubeneinstellung versehen, zu dem letzteren wurden Linsen und Spiegelvorrichtungen bald einzeln angewandt, bald miteinander kombiniert. Maßgebend für die späteren Ausführungen wurde die Konstruktion, welche zuerst unser Landsmann **Hertel** anwandte. Er gab seinen Instrumenten einen Spiegel, der, nach allen Richtungen drehbar, jede mögliche Lage gegen das Objekt einnehmen konnte; der Objektträger hatte eine runde Öffnung für durchsichtige Gegenstände; für undurchsichtige, je nachdem, eine weiße oder eine schwarze Platte. Das Rohr war in einem Scharnier beweglich und konnte sowohl Schraubenmikrometer als Netzmikrometer behufs mikroskopischer Messungen aufnehmen.

Die Hertelschen Instrumente dienten ihrer ausgezeichneten Brauchbarkeit wegen späteren Optikern, wie Martin, Adams, Dollond, Reinthaler in Leipzig, Brander in Augsburg u. s. w., vielfach als Vorbilder, und ihre Einrichtung spiegelt sich im großen und ganzen noch in den heutigen Mikroskopen wider.

Man brachte damals auch bereits Sammlungen von mikroskopischen Objekten für Liebhaber naturwissenschaftlicher Unterhaltungen in den Handel.

Die eigentliche Seele des Mikroskops aber, die Gläser, erfuhren ihre vollkommnere Ausbildung in der Zeit nach Euler. **Robert Barker** und andre wollten schon, weil die noch nicht beseitigte Farbenzerstreuung den Bildern ungemein schädlich war, **reflektierende Mikroskope**, in denen, wie in den Spiegelteleskopen, das Objektiv durch einen Hohlspiegel ersetzt war, in Aufnahme bringen, aber der große Lichtmangel der Bilder vereitelte solche Bestrebungen. Im Gegensatz versuchte **Dellabare** durch eine eigentümliche Kombination seiner Okulare auch die sphärische Abweichung zu verringern und durch Einschaltung einer Kollektivlinse das Gesichtsfeld zu vergrößern. Wie Sturm, wandte auch er verschiedene Objektive an, um verschiedene Vergrößerungen hervorzubringen, und richtete zu demselben Zwecke seine Rohre zum Verlängern ein. Dellabare selbst hat aber noch keine achromatische Doppellinse angewandt, obwohl er die beiden dazu dienlichen Glassorten Kron- und Flintglas gebrauchte, vielmehr hat dies zuerst **Äpinus** gethan, nach welchem dann die Holländer **Beeldsnider, Jan** und **Herman van Deyl** ausgezeichnete Mikroskope verfertigten. Die Äpinusschen Instrumente litten aber immer noch an dem Mangel, Linsen von zu großer Brennweite zu besitzen, dadurch wurden sie ungemein lang und ihre Handhabung sehr unbequem. Die van Deylschen Objektive, deren gewöhnlich zwei zu einem Mikroskope gehörten, hatten dagegen nur eine Brennweite von 30, sogar nur 15 mm, und bestanden aus einer bikonvexen Kronglaslinse und einer fast plankonkaven Linse von Flintglas, und sollen nach Hartings Urteil so vortrefflich gewesen sein, daß sie selbst späteren weit vorzuziehen waren.

Es hat in der That lange gedauert, ehe den nun immer mehr sich steigernden Anforderungen der fortschreitenden Wissenschaft schritthaltend von den ausübenden Optikern genügt werden konnte, und wenn auch Fraunhofers Mikroskope in Wirklichkeit das Höchste noch nicht erreichten, so waren es doch auch hier die Ideen des genialen Geistes, welche andre der Vollkommenheit rasch näherten. Auf Fraunhofersche Bestimmungen fußend, gab der französische Physiker Ernst Selligue dem Optiker Chevalier Vorschriften zu einem Mikroskop, welches in seiner Wirkung alle dagewesenen übertraf. Es hatte vier achromatische Doppellinsen von 37 mm Brennweite, die sich miteinander vereinigen ließen, eine Einrichtung, die mit dem größten Erfolge bei allen späteren Mikroskopen angenommen worden ist. Freilich aber waren die Bilder von nur geringer Helligkeit, weil Chevalier bei seinem Objektiv die gekrümmte Fläche der Linse dem Gegenstande zugekehrt hatte. Amici, durch den Erfolg überhaupt angeregt, ließ seine damals in halber Verzweiflung begonnenen Spiegelmikroskope sogleich liegen und wandte sich auch wieder der Herstellung von Linsenobjektiven zu. Er ordnete aber seine Linsen so, daß sowohl im Objektiv als auch im Okular die ebene Fläche nach außen kam, und hob die Abweichung durch die Kugelgestalt auf diese Weise fast vollständig auf (aplanatisches Mikroskop). Das Jahr 1827, in welchem Amici sein erstes derartiges Mikroskop vollendet hatte, wird daher in der Geschichte der praktischen Optik immer als eine Epoche betrachtet werden müssen.



Fig. 816. Mikroskop mit verstellbarer Achse.

Das zusammengesetzte Mikroskop hatte damit das einfache in jeder Beziehung geschlagen, und der Sieg wurde von Jahr zu Jahr ein vollständigerer. Die Namen G. und S. Merz & Söhne in München, Nobert in Greifswald, Plößl & Comp. in Wien, Schieck in Berlin, Roß, Powells, Smith und Beck in London, Siebert und Krafft und Ernst Seitz in Wetzlar, Dr. E. Hartnack & G. A. Prazmowski in Paris und Potsdam, Bencke & Wasserlein und Wappenhans in Berlin, Zeiß in Jena rc. knüpfen sich ruhmvoll an die wichtigsten Entdeckungen, welche die letzten dreißig Jahre so überreich auf dem Gebiete des organischen Lebens gebracht haben; denn diese Entdeckungen sind zum bei weitem größten Teile erst durch Hilfe der Mikroskope, welche aus den Werkstätten jener Künstler hervorgingen, möglich geworden.

Der Gebrauch des Mikroskops. Die große Verbreitung, welche diese Instrumente infolge ihrer Billigkeit in der letzten Zeit gefunden haben, und die damit zusammenhängende Lust an mikroskopischen Arbeiten veranlassen uns, noch einige Worte in bezug auf die Behandlung des Mikroskops hier anzufügen.

Zunächst ist es wichtig, wenn man sich nicht mit der Betrachtung von fertigen mikroskopischen Präparaten, wie solche von verschiedenen Seiten in den Handel gebracht werden, genügen lassen, sondern selbst seine Objekte sich zurecht machen will, einen Apparat zusammenzustellen, in welchem nach Professor Willkomms Angabe sich finden müssen: eine Anzahl Objektträger, kleine rektanguläre Platten von ganz reinem Spiegelglas ca. 2 mm dick, ferner äußerst dünne Glasplättchen zum Schutze der Präparate, sogenannte Deckgläschen, einige scharfe Präpariermesser und Präpariernadeln, eine Schere, eine Pinzette, ein Schleifstein, ein Streichriemen, einige Haarpinsel, Uhrgläser, Glasstäbchen, Porzellanschälchen, eine Spirituslampe, ein kleiner Lupenapparat und eine Anzahl chemischer Reagenzien, wie Essigsäure, Chlorcalciumlösung, Glycerin, Jodlösung, absoluter Alkohol, verdünnte englische Schwefelsäure, Salpetersäure, Kopallack, Kanadabalsam und Zuckerlösung. Als Präpariermesser kann man sich feiner englischer Rasiermesser mit möglichst dünner, ganz flach

(nicht hohl) geschliffener Klinge bedienen, sie müssen sehr häufig auf dem Streichriemen abgezogen werden; bei harten Gegenständen, Horn, Holz u. s. w., muß man Messer von stärkeren Klingen, ebenfalls auf einer Seite flach geschliffen, anwenden; weiche Objekte, Durchschnitte von Pflanzenteilen oder von sehr kleinen Gegenständen, Haaren u. dergl., präpariert man zwischen Kork, indem man den Gegenstand zwischen die zwei Hälften eines feinen Korkstöpsels klemmt und senkrecht gegen die Längsachse feine Scheibchen des Korkes abschneidet. Es ist dabei zweckmäßig, dünne Objekte, wie Haare, mittels Gummilösung zu mehreren zusammenzukleben und den so erhaltenen stielförmigen Körper auf diese Weise zu zerschneiden. Die Präpariernadeln bestehen aus ganz feinem, hartem Stahl und müssen eine ganz rostfreie Spitze haben, weswegen man sie oft auf einem feinen Schleifstein abschleift. Außer geraden Nadeln wendet man beim Präparieren der Objekte während des Beobachtens auch Nadeln mit hakenförmig gebogener Spitze an.

Es gilt aber auch, Mineralien und Felsarten mikroskopisch zu untersuchen und diese Art der Forschung hat in den letzten dreißig Jahren, dank der Förderung, die sie durch Männer wie Sorby, Zirkel, Vogelsang, Fischer, Rosenbusch, Michel Levy u. a. erfahren hat, eminente Resultate gefördert. Hierbei ist nun die Herstellung der Präparate eine andre. Zuerst begnügte man sich, das feine Pulver oder kleine Gesteinssplitter, dünn genug, um durchsichtig zu sein, unter dem Mikroskope zu durchmustern, ein unvollkommenes Verfahren, welches keine scharfe Bestimmung zuließ, später aber lernte man aus dem harten Gesteinsmateriale so dünne Plättchen herzustellen, daß dieselben völlig durchsichtig wurden, und damit war das Untersuchungsmaterial erst ordentlich vorbereitet. Solche „Dünnschliffe", wie sie heißen, sind zwar schon von William Nicol gelehrt worden anzufertigen, und namentlich der berühmte englische Physiker Sir David Brewster hat bereits wichtige Beobachtungen über Kristallstruktur, Einschlüsse, Mineralbildung an denselben gemacht (1813—45).

Aber erst als Sorby seine berühmte Arbeit „über die mikroskopische Struktur der Kristalle als Anzeichen für die Entstehung der Mineralien und Gesteine" herausgegeben hatte, wurde die eminente Fruchtbarkeit der Methode erkannt, letztere allgemein acceptiert und das Mikroskop als ferner nicht mehr zu entbehrendes Hilfsmittel für die mineralogische und petrographische Untersuchung aufgenommen. Ferdinand Zirkel hat dann durch seine umfassenden Arbeiten und seine mustergültige Darstellung des Beobachteten das Meiste dazu beigetragen, daß diese Forschungsart sich eine Beliebtheit errang, die der Beschäftigung mit ihr fast einen sportähnlichen Charakter verlieh.

Die Herstellung der Dünnschliffe geschieht aus flachen Plättchen, die entweder als Scherben durch Abschlagen mit dem Hammer oder durch Abschneiden mittels einer kleinen Rundsäge von dem Gesteinsstück gewonnen werden. Diesen gibt man zuerst eine ganz ebene und glatte Seite, indem man sie mit der Hand anfänglich auf einer ebenen Eisenplatte mit immer feinerem Schmirgelpulver abschleift oder dies durch eine Schleifscheibe besorgen läßt, an deren flache Seite die Plättchen angedrückt werden.

Mit der so erhaltenen glatten und ebenen Fläche werden sie mittels Kanadabalsam auf kleine Spiegelglasplättchen gekittet und nun ganz ebenso auf der andern Seite abgeschliffen, bis sie so dünn geworden sind, daß man durch sie hindurch beim Auflegen auf Gedrucktes feine Schrift deutlich lesen kann.

Dieser Fall tritt bei manchen Mineralien freilich erst bei einer Dünne von kaum $0{,}02$ mm ein. Jetzt wird, nach gehöriger Reinigung vom Schleifpulver, mittels Kanadabalsam ein dünnes Deckgläschen zum Schutze auf das Präparat geklebt und letzteres ist zur Untersuchung unter dem Mikroskope fertig.

Hier zeigen sich dann die einzelnen Mineralbestandteile, aus denen das betreffende Gestein zusammengesetzt ist, unterscheidbar nebeneinander gelagert und Farbe, Form, Struktur, optische Eigentümlichkeiten, Einschlüsse u. s. w. werden zu Erkennungszeichen, welche die mineralogische Natur dieser Bestandteile mit großer Sicherheit bestimmen, außerdem aber oft auch auf die Bildungsweise des Gesteins, ob ein Schmelzfluß langsam oder rasch erkaltet, oder bei Gegenwart von Dämpfen, oder durch Absatz aus Wasser u. s. w. wichtige Schlüsse ziehen lassen.

Wir haben schon bei der Besprechung des polarisierten Lichtes Gelegenheit gehabt, zu sehen, wie das Verhalten desselben beim Durchgange durch kristallisierte oder amorphe Körper ein verschiedenes ist, und bei ersteren wieder ein verschiedenes, je nach den Kristallsystemen, denen die Körper angehören. So subtile Unterscheidungsmerkmale zu erkennen, dazu befähigt nur der Dünnschliff, der die Substanzen durchsichtig darbietet und das Mikroskop, das mit dem Polarisationsapparat in Verbindung gebracht wird. Außer diesem letzteren sind dann auch noch andre Nebenapparate in Gebrauch, deren Besprechung aber hier viel zu weit führen würde.

Mikroskope, wie sie für die meisten Untersuchungen ausreichen (drei Objektivsysteme mit 15—400facher Linearvergrößerung mit Kasten und Zubehör zum Preise von 90 Mark), liefern in ausgezeichneter Art die Ateliers von Benèche und von Wasserlein in Berlin; größere — hauptsächlich für physiologische Zwecke — Schieck von 150 Mark an; für die feinsten Instrumente dürften Kellner in Wetzlar, Plößl und Oberhäuser am meisten zu empfehlen sein. Ein einigermaßen vollständiger Apparat kostet freilich gegen 900 Mark und mehr; die größten englischen Mikroskope, welche aber eine Menge zum Teil unnötiger Nebenapparate enthalten, stehen sogar auf den Preiskuranten mit 1500—2400 Mark angezeigt, für Gesteinsuntersuchung sind die vortrefflichen Mikroskope von Hartnack (Potsdam), sowie die von Gundlach (Charlottenburg) sehr zweckmäßig eingerichtet.

Angaben über die Vergrößerung der verschiedenen Objektivsysteme sind den Instrumenten immer beigefügt. Ist man jedoch in Ungewißheit darüber und in dem Fall, ein Instrument selbst auf seine vergrößernde Kraft prüfen zu müssen, so dienen dazu ebensolche Mikrometer, wie wir sie beim Fernrohr kennen gelernt haben, oder der Camera lucida ähnliche Vorrichtungen, in denen mittels eines Spiegels das vergrößerte Bild eines mikroskopischen Maßstabes mit einem nebenbei gesehenen bekannten Maße zur Deckung gebracht wird. Aus der Vergleichung der beiden Größen läßt sich das Verhältnis dann mit Leichtigkeit berechnen.

Die stärkste Vergrößerung, welche man bei den besten Instrumenten gebrauchen kann, dürfte ungefähr 1500 sein. Diese Grenze, welche für gewöhnlich gar nicht einmal angestrebt werden kann, ist wahrscheinlich auch die äußerste, bis zu der die vergrößernde Kraft von Linsensystemen sich bringen läßt; zur Zeit wenigstens ist keine Aussicht vorhanden, eine weitere Steigerung wirklich nutzbar zu machen, schon über 900fache Vergrößerung hinaus, werden die Bilder so unklar, daß sie für wissenschaftliche Zwecke oft ganz unbrauchbar sind.

Auf der Pariser Ausstellung vom Jahre 1867 befand sich ein Mikroskop von Hartnack, das bei gleichzeitiger Anwendung seines stärksten Objektivs und des stärksten Okulars eine lineare Vergrößerung von 5000 ergab und dabei noch helle Bilder lieferte, allein die Auflösbarkeit solcher Bilder, ihre Diskutierbarkeit, vermindert sich und muß sich mit solchen Vergrößerungen in einer Art vermindern, daß sie für sichere Beobachtungen nicht ausreichen. In der neuesten Zeit hat man daher auch nicht sowohl die Vergrößerung der Mikroskope zu steigern versucht, sondern vielmehr die Fortschritte der Technik daraufhin angewandt, innerhalb der oben angegebenen Grenzen die Bilder immer heller, klarer, auflösbarer zu machen. Man kann auch bei gewöhnlichen Mikroskopen für dieselben Gläser die Vergrößerung durch Herausziehen der Rohre, Entfernen des Okulars vom Objektiv, noch steigern und hat auf diesen Umstand Rücksicht zu nehmen, wenn bei Prüfungen auf die Vergrößerung ein Instrument bei dem gewöhnlichen Stande des Okulars den angegebenen Zahlen nicht zu entsprechen scheint.

Ein Mikroskop kann eine sehr bedeutende Vergrößerung gewähren, jedoch trotzdem unbrauchbare Bilder liefern. Helligkeit und Deutlichkeit derselben sowie die Größe des Gesichtsfeldes sind daher von weit wesentlicherem Einfluß auf die Beurteilung der Güte eines Instruments als die Vergrößerung. Es gibt nun gewisse Präparate, z. B. die staubartigen Schuppen eines in Deutschland häufigen Tagschmetterlings, Hipparchia Janira, die man in passender Form bei den Optikern zu kaufen bekommt, mit deren Hilfe als Objekte sich die Instrumente sehr gut vergleichen lassen. Jene Schuppen zeigen bei genügender Vergrößerung zunächst eine große Anzahl von parallelen Längsrippen, bei stärkeren Gläsern erscheinen dann diese einzelnen Längsrippen durch ein netzförmiges Gewebe höchst feiner

Querlinien miteinander verbunden. Vermag man diese Querlinien mit der 3—400fachen Vergrößerung eines mittelgroßen Instruments zu erkennen, so ist dasselbe gut.

Wenn der Anfänger mit seinem Mikroskop keine guten Bilder erhält, so darf er dasselbe deswegen nicht sogleich als unbrauchbar scheel ansehen. Die Schuld wird viel öfter an ihm selbst liegen. Zunächst kommt auf die Herstellung guter Präparate alles an. Da durchscheinendes Licht dem auffallenden in den meisten Fällen vorzuziehen ist, so müssen die Objekte in ganz zarten, dünnen Plättchen angefertigt werden. Das ist nicht so leicht; eine vorläufige Untersuchung mit der Lupe wird aber schon erkennen lassen, ob die Herstellung gelungen ist oder nicht. Das Präparat wird sodann, mit einem Tropfen reinen Wassers benetzt, auf das Objektivglas gebracht und mit dem Deckgläschen bedeckt, so daß keine Luftblasen oder Teilchen fremder Körper mit dazwischen kommen. Es ist überhaupt die größte Reinlichkeit nötig und müssen alle Gläser jedesmal ganz sauber abgeputzt werden, wozu man sich am besten eines alten, ausgewaschenen leinenen Läppchens bedient. Chemische Reagenzien, die mitunter zur Behandlung der Objekte gebraucht werden, dürfen weder in Berührung mit den Metallteilen des Mikroskops kommen, noch darf man auch die Linsen damit verunreinigen lassen, weil dieselben aus bleihaltigen, sehr leicht angreifbaren Glassorten bestehen.

Für die Untersuchung ist es am besten, von vornherein nur schwache Vergrößerungen, aber mit größerem Gesichtsfeld, anzuwenden, und erst wenn man dadurch die geeignetsten Partien des Objekts erkannt hat, die Auflösung durch schärfere Gläser vorzunehmen. Besonders gut gelungene Präparate hebt man auf, indem man, wenn sie von organischen Gebilden gewonnen worden sind, die Ränder des Deckgläschens, um die äußeren ungünstigen Einflüsse abzuhalten, mit Papier verklebt, schließlich auch mit Asphaltfirnis oder mit in Weingeist aufgelöstem Kopallack verkittet. Die Durchsichtigkeit bewahrt man ihnen, indem man je nach der Natur der präparierten Körper zwischen die beiden Gläser einen Tropfen Wasser, Weingeist, Terpentinöl, Kanadabalsam, Chlorcalciumlösung oder dergleichen gibt, ehe man sie zusammenpreßt und verkittet. Gesteinsdünnschliffe werden, wie schon angegeben, in Kanadabalsam eingebettet.

Was sieht man durch das Mikroskop? Zu schildern, ja selbst nur in den allgemeinsten Zügen anzudeuten, welchen Einfluß auf die Förderung aller naturwissenschaftlichen Disziplinen wir dem Mikroskop verdanken, können wir nicht unternehmen. Es würde dazu der Raum eines bändereichen Werkes notwendig sein. Denn wenn schon in der unorganischen Welt der Gesteine ganz ungeahnte Aufschlüsse durch das Mikroskop gewonnen worden sind, so ist fast die ganze Geschichte der organischen Wissenschaften nur eine Paraphrase der Entdeckungen, welche sich an die Erfindung des Middelburger Brillenmachers knüpfen. Wenn wir daher in einigen schließlichen Bemerkungen von dem Gebiete der Optik Abschied nehmen und, um uns die Früchte zu vergegenwärtigen, welche die Erforschung und Erkenntnis der wunderbaren Erscheinungen des Lichtes getragen haben, die neu erschlossene Welt der kleinsten Räume aus der Vogelschau herab betrachten, so wird uns nur das Oberflächliche auffallen, die äußere Gestaltung reich bebauter Landschaften; die zartesten Blumen aber, die feinen Formen, enthüllen sich nur demjenigen, der sich in einem der zauberischen Gründe niederlassen kann.

Wie das Schwesterinstrument, das Teleskop, erweitert auch das Mikroskop, indem es unser Auge tiefer und tiefer in die Geheimnisse des unendlichen Raumes eindringen läßt, zugleich unserm Geiste die Grenzen der begreifbaren Zeit. Dadurch, daß es die Dinge in ihre einzelnen Bestandteile auflöst, zeigt es uns ihr Werden, läßt es uns Vorstellungen gewinnen von dem Zustande, auf welchem das Bestehende sich aufbaute, und von den Kräften, die sich in dem ungeheuren Rahmen der Vergangenheit regen, bekämpfen und gebären mußten, ehe alle die Veränderungen durchlaufen waren, deren Spuren nur noch wie ein großes Gerippe hinter uns liegen. Nimm ein Stück Kreide in die Hand und bringe den feinen Staub, der an deinen Fingern haften bleibt, unter das Mikroskop. Welcher Reichtum regelmäßiger Bildungen, die organischem Leben ihren Ursprung verdanken! Das ganze Stück der weißen Masse besteht aus lauter feinen, kieseligen und kalkigen Panzern untergegangener Tiere, Polythalamienschalen und Skelette von solcher Kleinheit, daß in einem Kubikzentimeter Kreide oft mehr als 298000 Millionen nebeneinander gebettet sind.



Fig. 317. Kreide von Gravesend.



Fig. 318. Kreidekalk vom Antilibanon.



Fig. 319. Guano.

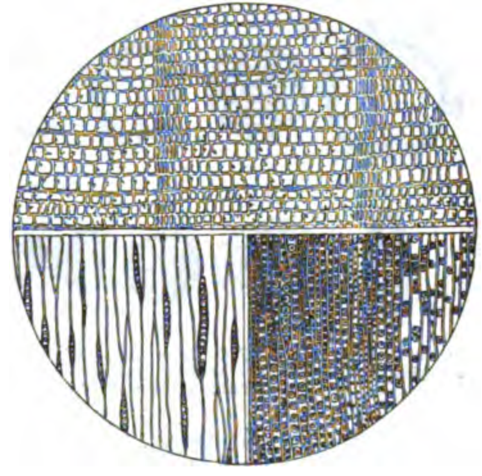


Fig. 320. Anatomie des Tannenholzes; obere Hälfte Querschnitt; untere Hälfte rechts Radialschnitt; links Tangentialschnitt.

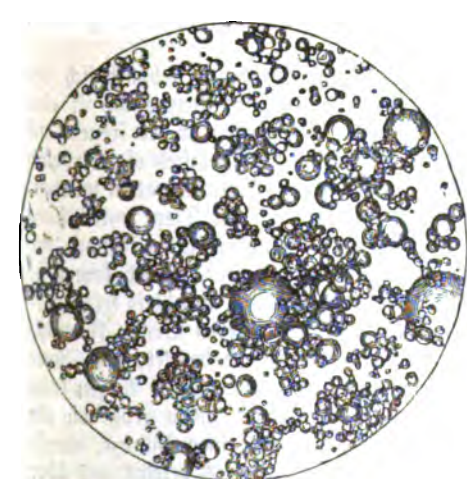


Fig. 321. Reine Butter.



Fig. 322. Reiner Leinenbatist.

Und in den Alpen gibt es Gebirge von Tausenden von Metern Höhe, aus lauter solchen Tierresten aufgebaut, und vom 57. Grade nördlicher Breite bis hinunter an das Kap Hoorn ist die Kreideformation verbreitet! Nicht genug, daß diese einzelnen Teilchen nach ihrem Ursprunge unterschieden werden können, ihre einstigen Besitzer sind in Arten geordnet worden, wie wir die Fische oder Vögel klassifizieren.

Ehrenberg, der berühmte Erforscher der mikroskopischen Welt, der den Ruhm hat, von allen Menschen am meisten Neues zum erstenmal gesehen und die Kenntnis der Natur mit der größten Zahl neuer Thatsachen bereichert zu haben, zählte allein in der Kreide von Gravesend (Fig. 317) 51 verschiedene Polythalamienschalen; im Kreidekalk vom Antilibanon (Fig. 318) fand er deren 43, und die Vergleichung der in den beiden Abbildungen dargestellten Formen wird jeden Beschauer belehren, wie sich verschiedener Ursprung, abgesonderte, der Zeit und dem Raume nach getrennte Bildung, selbst der Einfluß späterer Epochen dem bewaffneten Auge zweifellos verraten.

Die Ergebnisse mikroskopischer Gesteinsuntersuchungen, namentlich der Untersuchung geschichteter Sedimentgesteine, hat Ehrenberg zu einer fast selbständigen Wissenschaft, der Mikrogeologie, geordnet, welche die wichtigsten Kapitel der Geschichte der Erdentwickelung noch zu schreiben berufen ist.

Wir treten hin zur Pflanzenwelt. Da ist ein klarer, schnellfließender Bach, sein Grund ist von einem saftgrünen Rasen überzogen, der durch die sich verfilzenden und verschlingenden Zweige einer Alge gebildet wird. In den ersten Zeiten des erwachenden Frühlings lösen wir ein Stückchen Rasen ab, um es daheim zu beobachten. Wir entwirren behutsam einige Fäden, und das Mikroskop zeigt uns, daß sie aus einfachen oder bei andern Arten aus in Zellen geteilten Schläuchen bestehen, in welchen Kügelchen oder Körnchen liegen.

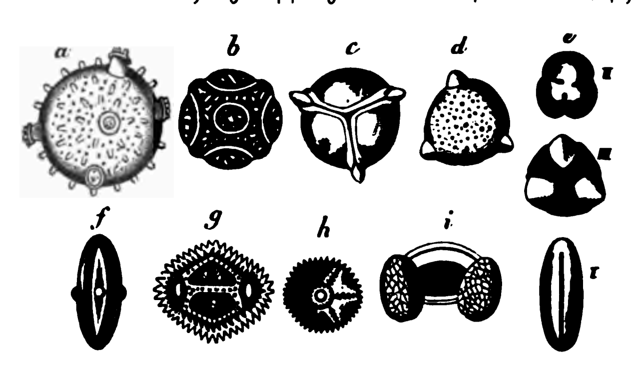


Fig. 323. Blütenstaub. Pollenkörner von a Kürbis; b Passionsblume; c Cuphea procumbens; d Weberkarde; e Gartenwinde; f Wasserweidrich; g Golddistel; h Zichorie; i Kiefer.

Diese, Sporen genannt, fangen, wenn ihre Zeit gekommen ist, an, in ihrem Gefängnisse so lange zu drängen, bis sie dessen Wände zersprengt haben; sodann treten sie aus, einzeln oder in Haufen, und geraten alsbald in lebhafte Bewegung, fahren im Wasser hin und her, tauchen auf und ab, so daß man meinen möchte, die Pflanze habe ein Tier geboren. Aber nein, es ist etwas andres.

Das merkwürdige Ding rudert allerdings mittels zarter, ungemein lebhaft sich bewegender Härchen oder Wimpern wie mit Schwimmfüßen, aber seine Bewegung ist eine völlig willenlose, sein Herumschwärmen hängt von tausend Zufälligkeiten ab, es steuert auf entgegenstehende Hindernisse gerade los und bleibt an der Wand des Gefäßes oft wirbelnd hängen, wo die mit willkürlicher Bewegung begabten Geschöpfe schnell zurückprallen würden. Diese Wimperbewegung ist eine sehr allgemeine Naturerscheinung in der Tier- und Pflanzenwelt, deren wahre Ursache noch nicht ganz klar vorliegt. Nachdem unsre Spore sich 10—20 Minuten herumgetummelt hat, wird ihr Lauf immer langsamer, endlich kommt sie nach etwa zwei Stunden zur Ruhe, die Bewegungen der Wimpern hören auf, diese selbst verschwinden, die Spore nimmt die Kugelform an, sie bekommt an mehreren Seiten Fortsätze und wächst zur Alge aus. Wir haben das Gebären einer Pflanze beobachtet, die Spore ist ein Pflanzenkeim. Und wie groß ist eine solche Spore? Nun, mit bloßen Augen kann man sie schwerlich sehen, bei 400facher Vergrößerung aber erscheint sie so groß wie ein Kirschkern und fast ebenso gestaltet. Wie aber diese ersten Regungen einer Pflanze, ebenso zeigt uns das Mikroskop die Geheimnisse ihrer höchsten Entwickelung; es belehrt uns über

das Wesen der Befruchtung, und mit seiner Hilfe erfahren wir, welche Funktionen den einzelnen Teilen der Blüte zukommen. Wir halten den Blütenstaub (das Pollen, wie der Botaniker sagt) der Pflanzen, wenn wir ihn mit bloßem Auge betrachten, für nichts weiter als für ein überaus zartes Pulver, an dem wir nichts als seine meist gelbe Farbe beobachten können. Nehmen wir ihn aber unter das Mikroskop, so wird das mehlartige Pulver zu regelmäßig gestalteten Körpern, deren bestimmte Formen uns die Mutterpflanze, welcher sie entstammen, mit Sicherheit erkennen lassen. Wir sehen, daß jedes Korn aus einem inneren, mit einer höchst zarten Haut versehenen Körper besteht, welcher von einer äußeren Haut mit mancherlei Auswüchsen, Stacheln, Öffnungen u. s. w. umschlossen ist, durch welche letztere es herausquellen kann, wie es bei c, d und e III in unsrer Abbildung der Fall ist.

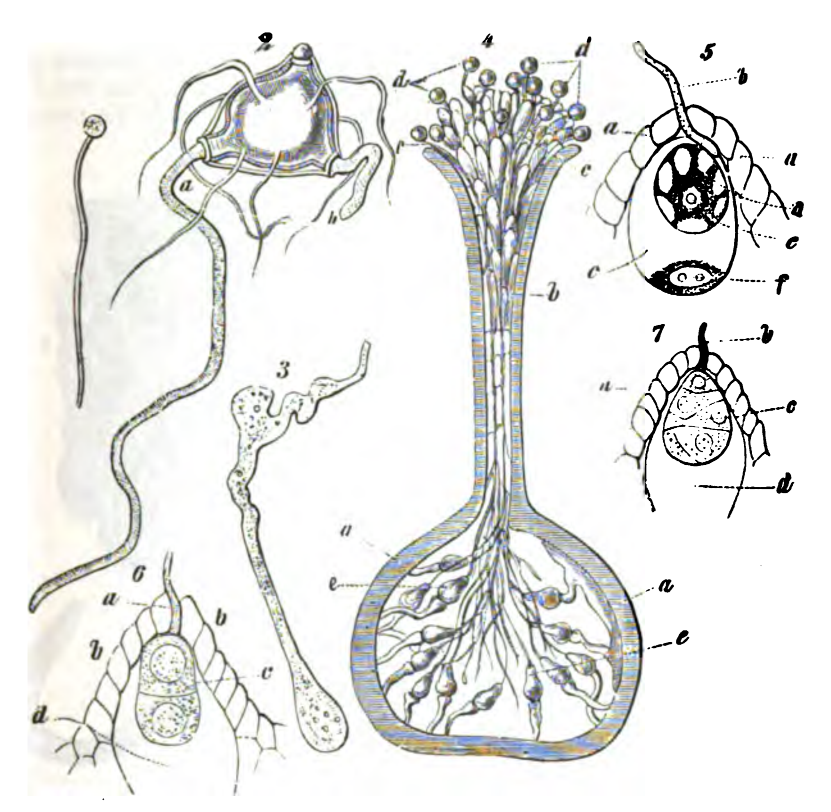


Fig. 324. Befruchtung der Samenpflanzen.

Und wenn wir die Weiterentwickelung dieser Körnchen verfolgen, so wird es uns klar, wozu diese merkwürdige Gestaltung nützlich ist. Wir wissen, daß außer den Staubfäden, welche den Blütenstaub in den Staubbeuteln enthalten, die Blüte in dem Pistill das eigentliche Befruchtungsorgan trägt. Dieses Pistill, welches uns Fig. 324 (4) vergrößert zeigt, besteht aus dem unteren erweiterten Teile, dem Fruchtknoten a, in welchem die Eier e auf dicken Stielen sitzen, aus dem Griffel b und aus der Narbe, dem obersten Teile, welcher aus zarten, blasigen Zellen besteht, die eine klebrige, zuckerhaltige Flüssigkeit, die Narbenfeuchtigkeit, absondern. Mit Hilfe dieser Feuchtigkeit hält die Narbe das auf sie gelangende Pollen fest und bewirkt ein Aufquellen der inneren feinen Haut, welche in Form von fadenförmigen Schläuchen aus den Öffnungen der äußeren Haut heraustritt. Die Entstehung der Pollenschläuche heißt das Keimen des Pollen.

Bei 4 ist unter d ein gekeimtes Staubkorn des Maiblümchens, unter 2 ein solches des Weidenröschens, unter 3 eins der Spritzgurke abgebildet; 4 aber zeigt, wie die

Pollenschläuche, in die sich der zähflüssige Inhalt des Kornes ergossen hat, durch den oft sehr langen Griffel hinabwachsen in die Fruchtknotenhöhle hinein, wo sie in die oben geöffneten Eier durch den Eiermund hinein gelangen (vgl. 5, 6 und 7) und hier durch Überführen ihres Inhalts die Befruchtung bewirken.

Bei 5 und 6 ist der Vorgang abgebildet, wie er bei der Kaiserkrone in verschiedenen Stadien der Entwickelung stattfindet, während 7 ein mehrzelliges Keimkügelchen c der Pictia obovata, einer tropischen Wasserpflanze, zeigt.

Mit diesen Wahrnehmungen ist jedoch die Grenze noch nicht erreicht, bis zu welcher die auflösende Kraft des Mikroskops zu bringen vermag. Nur können wir an dieser Stelle nicht auf die subtilsten Untersuchungen weiter eingehen, deren Verständnis andre Vorbegriffe voraussetzen würde, als wir zu erläutern den Raum haben. Das aber wird aus dem Angeführten schon hervorgehen, daß die Gesamtheit der solchergestalt gewonnenen Anschauungen unsre Vorstellungen vom Wesen der organischen Gebilde klären muß und daß uns diese Erkenntnis auch Mittel zeigen wird, auf rationelle Weise Wachstum, Blüte und Frucht zu begünstigen, schädliche Einflüsse abzuwehren und nach unsern Zwecken die unentbehrliche Thätigkeit des Pflanzenreichs zu erhöhen.

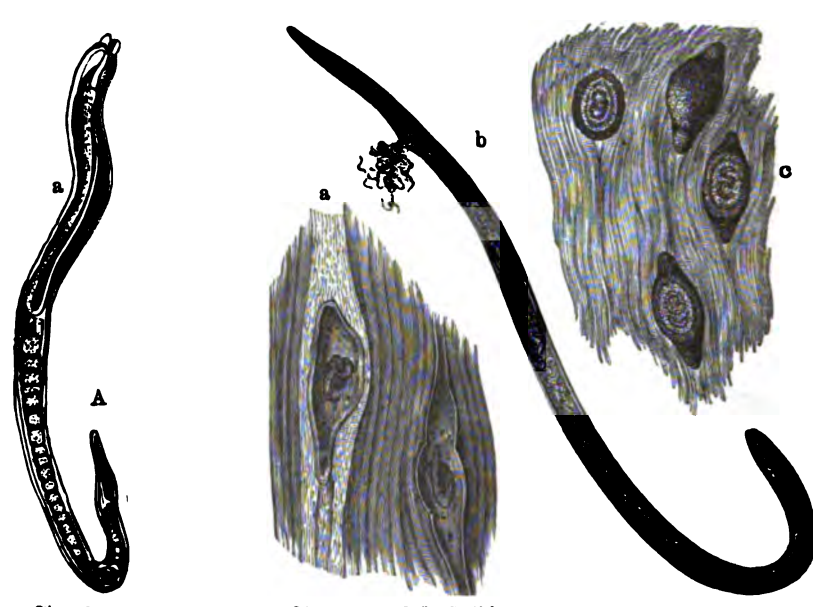


Fig. 325. Männliche Trichine.

Fig. 326. a Stück Fleisch mit aufgeschnittenen Trichinenkapseln; b Weibliche Trichine; c Fleisch mit verkalkten Trichinenkapseln.

Erst durch den Gebrauch des Mikroskops ist uns die Zelle als Elementarbestandteil der Pflanze bekannt und die Botanik durch die Pflanzenphysiologie, welche sich mit den Veränderungen des organischen Werdens und Wachsens und ihren Ursachen beschäftigt, zu einer wirklichen Wissenschaft geworden.

Was uns als widriger Schimmel an Brot und andern Speisen begegnet, verwandelt sich unter dem Mikroskope in den zierlichsten Wald, von größerem Formenreichtume als alle unsre Laub- und Nadelwälder. Der Traubenschimmel besteht aus zelligen Fäden, die sich entweder durch Abschnürung oder durch besondere Fruchtbehälter mit zahlreichen Keimzellen fortpflanzen. Auf diese Weise vermag sich das Gewächs mit reißender Schnelligkeit weiter zu verbreiten.

Nicht nur die Kartoffelkrankheit, sondern auch tierische und menschliche Krankheiten, wie die Kinderschwämmchen, sind durch gewisse auftretende Pflanzen, namentlich Schimmelbildungen, charakterisiert, und die neueren Forschungen haben es wahrscheinlich

gemacht, daß eine große Anzahl von Krankheiten, die ihren hauptsächlichen Charakter in chemischen Veränderungen des Blutes oder der Säfte des Körpers haben, mit dem Vorhandensein mikroskopischer pflanzlicher oder tierischer Gebilde in engster Wechselbeziehung stehen.

Pilze, Bakterien, Bacillen — wer hat nicht schon diese niedrigsten Formen des organischen Lebens als die wahrscheinlichen Ursachen der gefährlichsten Krankheiten Cholera, Diphtheritis, Milzbrand u. s. w. nennen hören? Ihre Entdeckung ist nur durch das Mikroskop geschehen, ihre weitere Erforschung und damit auch die Erkennung der wirksamsten Bekämpfungsmittel dürfen wir von demselben Instrument erhoffen.

Tier- und Pflanzenwelt berühren sich auf allen Grenzpunkten der beiden Reiche, sie greifen ineinander über, und die Unterscheidungen, welche die oberflächliche Systematik so scharf hinzustellen sich vermaß, verschwinden, je weiter wir hineindringen, um so mehr. Wir stehen endlich nicht mehr an der Grenze des Pflanzenreichs oder der Tierwelt, sondern an der Grenze des organischen Seins überhaupt, und die Erfahrungen, welche wir auf der einen Seite sammelten, sind uns ein günstiger Fingerzeig nach der andern.

Die Diatomeen, winzig kleine Geschöpfe, welche das bloße Auge erst sieht, wenn einige Millionen derselben beisammen liegen, bestehen aus einer Hülle von Kieselerde mit etwas Schleim im Innern und sehen bald wie Schiffchen, bald wie Stäbchen, Semmelreihen, Treppen, Siebe, Scheibchen u. s. w. aus. Ihre fabelhaft rasche Vermehrung geschieht ohne Umstände dadurch, daß eines aus dem andern herauswächst, oder auch durch Teilung. Sie leben im Wasser und im feuchten Erdreiche, aber wie leben sie? Sie treiben und schaukeln im Wasser — das ist alles. Keine Spur von Organen zur Aufnahme von Nahrung oder sonstige tierische Merkmale sind zu entdecken, ebensowenig aber lassen sich die Geschöpfchen dem gewöhnlichen Begriff der Pflanze unterordnen. Sie sind sozusagen die Primärstufen des organischen Lebens. Ehrenberg fand, daß beinahe ganz Berlin auf solchen Wesen steht, die in den oberen Schichten noch leben. Da ihre Kieselpanzer unverweslich sind, so ist die Menge abgestorbener Exemplare begreiflich noch viel größer. Ihre Katakomben sind die Lager von Kieselguhr, Bergmehl und mergeligen Gesteinen, welche, wie die Kreide, ganze Gebirge bilden.



Fig. 327. Mikroskop des Fleischbeschauers.

Wie der Botanik, so ist naturgemäß das Mikroskop auch denjenigen Wissenschaften, welche sich mit dem animalischen Organismus beschäftigen, das wesentlichste Förderungsmittel geworden. Die rohe Empirie in der Behandlung von Krankheiten hat vernünftigen, rationellen Heilmethoden Platz machen müssen, denn man hat gelernt, die Thätigkeit der Nerven, der Haut, der Muskeln aus der genauesten Beobachtung ihrer kleinsten Organe zu erkennen und die Veränderungen im normalen Verlaufe der körperlichen Funktionen auf ihre wahren Ursachen zurückzuführen. Das Mikroskop unterscheidet auf das genaueste menschliches Blut von tierischem und entlarvt mit derselben Sicherheit das gräßlichste Verbrechen, wie es die Verfälschung leinener Gewebe oder teurer Gewürze aufdeckt.

Man zählt die Zahl der Blutkörperchen in jenem „ganz besondern Safte“, der unser Leben erhält, und weiß ihrer Armut zu steuern, ihren Reichtum zu mindern. Welcher Arzt will eine Hautkrankheit heilen, wenn er selbst nicht weiß, in welcher Weise die Haut im körperlichen Organismus thätig ist? Unsre Sinnesorgane selbst, die wichtigsten Werkzeuge, denen wir alle Kenntnis verdanken, sie sind uns erst in ihren verborgensten Funktionen bekannt geworden durch die mikroskopische Untersuchung ihres inneren Baues.

Wir dürfen nicht weit zurückgreifen in die Vergangenheit, um sprechende Beispiele zu finden. Vor zwanzig Jahren etwa entdeckte Dr. Zenker in Dresden kleine parasitische Tierchen, **Trichinen**, welche sich bald in größerer, bald in geringerer Menge in den Muskeln Verstorbener vorfanden und die im Zusammenhang mit gewissen Krankheitserscheinungen zu stehen

schienen. Von dem Augenblicke an, wo die Aufmerksamkeit auf diese Schmarotzer gelenkt war, wuchs die Anzahl der beobachteten Fälle unglaublich, und da man in nicht seltenen Fällen den eingetretenen schmerzhaften Tod als Folge der massenhaften Einwanderung jener Tiere ansehen mußte, bekam die Sache eine höchst dringliche Bedeutung. Schon aus den Beobachtungen der Eingeweidewürmer, namentlich aus den Untersuchungen über den Bandwurm, wußte man, daß viele Tiere gewisse Lebensphasen in verschiedenen größeren Tieren durchmachen, und es dauerte nicht so lange, so fand man, den andeutenden Spuren folgend, daß die Trichinen vorzugsweise durch den Genuß rohen Schweinefleisches in den menschlichen Körper übergeführt werden. Dem Schweine sind wahrscheinlich diese inneren Bewohner nicht lästig, von den Menschen aber aufgenommen, vermehren sie sich auf das unglaublichste und wissen dann ihren Weg nach Durchbohrung der Eingeweidewände in die Muskeln zu finden, wo sie sich mit einer kalkigen Kapsel umgeben und jene schmerzhaften Symptome hervorrufen, denen in vielen Fällen der unabwendbare Tod gefolgt ist. Gewiß sind die Trichinen keine Erfindung der Neuzeit — sie sind jedenfalls in früherer Zeit ebenso aufgetreten und haben plötzliche Todesfälle ebenso bewirkt wie jetzt. Aber man hatte in der Unkenntnis der wahren Ursache unter hundert möglichen andern die Auswahl. Ist es doch vorgekommen, daß man auf absichtliche Vergiftungen geschlossen und auf oberflächlichen Verdacht hin Untersuchungen angestellt hat, deren Grundlosigkeit sich erst jetzt, nachdem man in den wieder ausgegrabenen Leichen die Trichinen nachweisen konnte, ergeben hat.

Mit dem Mikroskop wird heute vom Fleischbeschauer den vielgeschmähten Tierchen nachgespürt. Unsre Fig. 327 zeigt das wohlthätige Instrument mit nur einem Stück des Fernrohrs, dessen optischer Teil aus einem Huyghensschen Okular und drei achromatischen Objektiven besteht und 50-, 100- und 200malige Vergrößerung gestattet.

Neben derartigen ganz unschätzbaren materiellen Erfolgen verdanken wir dem Mikroskop wie keinem andern Instrumente eine Reinigung der Begriffe, eine Klärung der Ideen, durch welche die exakten Wissenschaften hohe reformatorische Bedeutung erhalten. Dem auf dem reich gedüngten Felde der Dummheit und Indolenz üppig wuchernden Kraut „Aberglauben" wird eine Wurzel nach der andern durch das Mikroskop abgeschnitten.

Welchen Schrecken haben nicht Erscheinungen, wie Blut-, Schwefelregen u. dergl., der unkundigen Menge eingeflößt? Mit Hilfe des Mikroskops sind sie auf ihre wahren Ursachen zurückgeführt worden. Das erstgenannte Phänomen beruht auf dem Auftreten einer winzig kleinen Infusorie, die man wegen ihrer erstaunlich schnellen Vermehrung die Wundermonade genannt hat. Es gelang Ehrenberg, diese Infusionstierchen genau zu untersuchen. Er fand ihre Verwandtschaften, beobachtete ihre Entwickelung und maß ihre Größe, die von $^1/_{1500}$ bis $^1/_{4000}$ Linie beträgt, so daß zur Ausfüllung eines Kubikzentimeters 2"550 000 000 000 bis 50"000 000 000 000 gehören. Die Monade bewegt sich lebhaft und unstät mit Hilfe eines kleinen Rüssels, und da das einzelne Tier fast farblos ist und nur zwei winzige rote Punkte besitzt, so kann man sich vorstellen, welche Zahlenmengen von Individuen dazu gehören, um einem Schneefelde von oft meilenweiter Ausdehnung die rote Färbung mitzuteilen. Der Schwefelregen zeigt bei mikroskopischer Untersuchung, daß er aus dem Blütenstaube von Erlen, Ulmen, Fichten, Kiefern oder dergleichen besteht.

Auf dem verfaulten phosphoreszierenden Weidenholze erblicken wir eine mikroskopische Flechte, welche einen eigentümlichen Schein ausstrahlt, und das zauberische Leuchten des Meeres ist die Folge von Myriaden kleiner Tierchen, die zu Hunderttausenden in jedem Tropfen funkeln. Kann es nun einem Vernünftigen einfallen, zu beklagen, daß die Untersuchung den Grund einer Erscheinung dargelegt hat, welche das Gemüt des Beschauers in ihrer unvergleichlichen Schönheit mächtig ergreift?

Und doch hat man den Naturwissenschaften solche albernen Vorwürfe machen hören.



— — — — — — — — — Natur! auseinander auf immer
Fliehet, wenn du nicht vereinst, feindlich, was ewig sich sucht.
Aber da bist du, du Mächtige, schon; aus dem wildesten Streite
Rufst du der Harmonie göttlichen Frieden hervor.

Schiller.

Die Elektrizität
und
die Erfindung der Elektrisiermaschine.

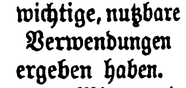
Kenntnis von der Elektrizität im Altertum. Bernstein. Reibungselektrizität. Otto von Guericke. Anziehende und abstoßende Kraft der Elektrizität. Positiv und negativ. Ausgleichung. Leiter und Nichtleiter. Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Die Holtzsche Elektrisiermaschine. Die Elektrisiermaschine. Scheiben- und Cylindermaschine. Dampf-Elektrisiermaschine. Elektroskop und Elektrometer. Elektrizitätserregung durch Verteilung. Gebundene Elektrizität. Die Franklinsche Tafel. Leidener Flasche und Batterie. Elektrische Versuche.

Die griechischen Frauen im Altertume hielten bei ihren weiblichen Beschäftigungen vorzüglich eine Art bernsteinerner oder mit Bernstein ausgelegter und verzierter Spindeln in hohem Wert. Durch die Reibung nämlich, welche die wollenen Fäden an der Spindel verursachten, wurde der Bernstein in einen eigentümlichen Zustand versetzt,

so daß er die kleinen Fäserchen, die sich von der Wolle loslösten, anzog und wieder von sich stieß, und auf diese Weise den Frauen beim Spinnen der belustigende Anblick eines scheinbar willkürlichen Spieles sich darbot.

Diese Eigenschaft des Bernsteins, anziehende Kraft zu entwickeln, hatte ihm auch den Namen Elektron, von dem griechischen Worte ἕλκειν, welches an sich ziehen bedeutet, verschafft, und seine Benennungen in andern Sprachen — so hieß er bei den Lateinern harpax, der Räuber, bei den Persern caruba, „welcher Spreu an sich reißt", woraus dann Carabe entstanden ist — deuten darauf hin, daß diese seine Eigenschaft schon frühzeitig eine allgemeine Beachtung gefunden hat. Aus dem Namen Elektron leitete man später den Namen für die besondere Kraft selbst ab, man nannte dieselbe Elektrizität und die durch sie bewirkten Erscheinungen elektrische.

Man kannte aber schon im Altertum außer dem Bernstein noch andre Körper, welche in gleicher Weise wie dieser elektrisch wurden, z. B. den Hyacinth, und im Laufe der Zeit hat sich diese Eigenschaft als eine sehr allgemeine und so verschiedentlich sich äußernde zu erkennen gegeben, daß die Lehre von der Elektrizität zu einer der bedeutendsten der Physik geworden ist, aus deren Vervollkommnung sich auch für mannigfache praktische Zwecke äußerst wichtige, nutzbare Verwendungen ergeben haben.



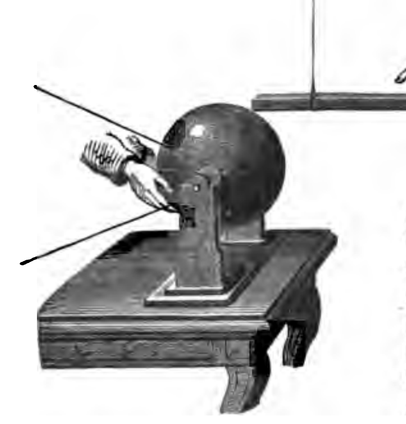


Fig. 329. Erste Elektrisiermaschine Otto von Guerickes.

Wie weit das Altertum sonst noch mit dem großen Gebiete der elektrischen Erscheinungen bekannt war, ist schwer zu entscheiden. Es könnte freilich manchmal scheinen, als ob gewissen religiösen Kulten, deren innere Bedeutung die Priester als Geheimnisse von Geschlecht zu Geschlecht sich überlieferten, wie eine tiefere Naturerkenntnis überhaupt, so namentlich eine genauere Bekanntschaft mit dem Wesen der elektrischen Phänomene zu Grunde gelegen habe. Indessen alle diese Kenntnisse, wenn sie je durch eine allgemeine Anschauung, durch ein erkanntes Gesetz miteinander verknüpft waren, sind für uns verloren gewesen und für die Entwickelung der heutigen Elektrizitätslehre ohne Bedeutung geblieben.

Wir können die letztere vielmehr erst mit William Gilbert beginnen, einem bedeutenden englischen Physiker, welcher zahlreiche Körper auf ihr elektrisches Verhalten untersucht hat und in seinem im Jahre 1600 zu London erschienenen Werke „De magnete" ein ansehnliches Verzeichnis solcher Körper, welche durch Reiben elektrisch werden, zusammenstellte.

Daß die Elektrizität, welche in der That eine nicht minder allgemein wirkende Naturkraft ist als das Licht oder die Wärme, sich den forschenden Blicken der Philosophen so lange zu entziehen wußte, hat seinen Grund darin, daß wir für ihre Empfindung ein eigentliches Sinnesorgan nicht besitzen, und daß daher nur die beträchtlicheren Wirkungen jener Kraft, wenn sie von mechanischen oder von Licht-, Schall- oder Wärmeeffekten begleitet sind, besonders auffallen, diese hervortretenderen Wirkungen aber allerdings nur unter gewissen Verhältnissen und vereinzelt zur Erscheinung gelangen. Seit Gilbert aber gezeigt hatte, daß durch Reiben eine sehr große Zahl von Körpern in elektrischen Zustand versetzt werden kann, nahm die emporblühende Naturforschung sich mit Eifer der weiteren Untersuchung an. Man suchte nach Mitteln, um die Elektrizität (die man zuerst nur in der einen Art, der durch Reiben hervorgerufenen, der Reibungselektrizität, kannte) in größerem Maße zu erzeugen, und Otto von Guericke stellte die erste Elektrisiermaschine her, indem er

eine Glaskugel mit Schwefel ausgoß, das Glas durch Abklopfen von der Schwefelkugel entfernte und diese mittels eines durchgesteckten Stabes mit einer Achse versah, um welche sie durch eine Kurbel rasch gedreht und an der dagegen gedrückten linken Hand gerieben werden konnte (Fig. 329). Hätte der Magdeburger Bürgermeister die Glashülle nicht zerschlagen, sondern sie selbst anstatt der Schwefelkugel gerieben, so würde er die Erfindung der Elektrisiermaschine wesentlich weiter gefördert haben; so aber gab er einen Vorteil, den ihm der Zufall in die Hand legte, unbewußt auf. Trotzdem können wir ihm die Ehre zuschreiben, die erste, wenn auch rohe, Elektrisiermaschine verfertigt zu haben, mit welcher er eine große Anzahl interessanter Experimente anstellte.

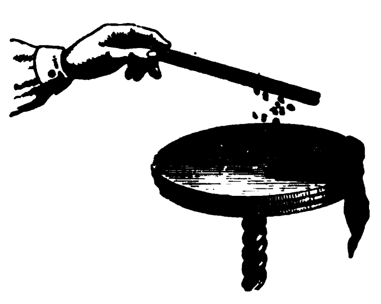


Fig. 330. Anziehende Kraft der Elektrizität.

Leiter und Nichtleiter. Die Elektrizität verbreitet sich in gewissen Körpern mit ungemeiner Leichtigkeit und läßt sich durch diese, die deshalb auch Leiter genannt werden, auf jede Entfernung fortleiten. In andern dagegen bewegt sie sich nur schwierig; aber wie es keine vollkommenen Leiter gibt, welche der Fortbewegung der Elektrizität gar keinen Widerstand entgegensetzten, so gibt es auch keine absoluten Nichtleiter oder Isolatoren.

Zu den guten Leitern gehören vor allen Dingen die Metalle, dann die Erde (d. h. der Erdkörper) und das Wasser, daher auch der menschliche Körper und grüne Pflanzen; zu den schlechten oder Nichtleitern dagegen sind alle Harze, die trockene atmosphärische Luft, Schwefel, Kautschuk, Glas, Seide und eine große Zahl andrer Körper zu rechnen.

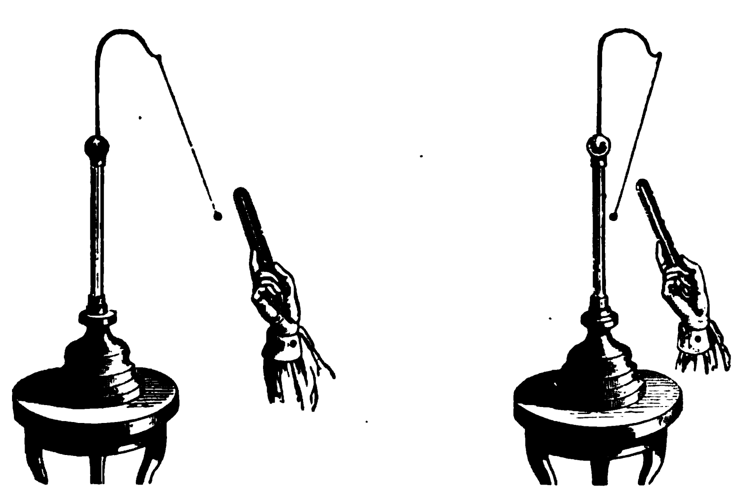


Fig. 331—332. Elektrisches Pendel.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit beträgt bei möglichst geringem Widerstande des leitenden Körpers ungefähr 62000 Meilen in der Sekunde; wahrscheinlich ist sie in verschiedenen Leitern auch verschieden. Selbst der beste Leiter setzt der Bewegung der Elektrizität noch Widerstand entgegen, um zwar um so mehr, je geringer sein Querschnitt ist; er verhält sich wie eine Röhre, deren größerer oder geringerer Durchmesser auch die hindurchströmende Flüssigkeit weniger oder mehr behindert; in dem großen Erdkörper erfolgt die Ausbreitung augenblicklich.

Anziehende und abstoßende Kraft der Elektrizität. Um die elektrischen Fundamentalversuche zu machen, brauchen wir zuvörderst durchaus keinen komplizierten Apparat. Wenn wir eine Siegellackstange mit einem wollenen Tuche reiben und sie über kleine

Papierschnitzelchen, Streu, Korkkügelchen oder dergl. halten, so bemerken wir, daß die leichten Körperchen mit Lebhaftigkeit in die Höhe springen und sich rings um die geriebene Stange ansetzen. Nach einiger Zeit lösen sie sich wieder los oder werden vielmehr förmlich fortgestoßen.

Nehmen wir anstatt kleiner Papierschnitzel ein Kügelchen von Holundermark und hängen dies an einem feinen seidenen Faden auf, so können wir dieselbe Beobachtung machen. Dieses elektrische Pendel wird angezogen; sobald aber das Kügelchen die Siegellackstange berührt hat, abgestoßen, so daß es nun dieselbe ebenso flieht, wie es ihr vorher folgte. Eine Glasröhre — am besten nimmt man zu den Versuchen Röhren von hartem weißen Glase, etwa $\frac{1}{2}$ m lang und 2 cm im Durchmesser — mit einem seidenen Tuche gerieben, zieht an und stößt ab, scheinbar genau in derselben Art wie Siegellack. Allein es findet zwischen der Wirkung des Siegellacks und der des Glases doch ein namhafter Unterschied statt. Denn hängen wir zwei Holundermarkkügelchen in der vorhin angegebenen Weise jedes für sich auf und berühren das eine mit der geriebenen Siegellackstange, so daß die Elektrizität darauf übergeht, das andre in derselben Weise mit der Glasröhre, so flieht das erste von dem Augenblick der Berührung an wohl den Siegellack, dagegen wird es mit um so größerer Heftigkeit von der Glasröhre angezogen. Umgekehrt nähert sich dasjenige Kügelchen, welches von der Glasröhre abgestoßen wird, begierig der Siegellackstange.

Positive und negative Elektrizität. Die Glaselektrizität ist von der Harzelektrizität verschieden. In der Sprache der Wissenschaft heißt die erste positive, die zweite negative Elektrizität. Man bezeichnet sie kurzweg mit + E. und — E. Der erste, welcher diesen Unterschied erkannte, war Du Fay (1773), und seine Entdeckung ist eine der bedeutendsten in der ganzen Geschichte der Physik.

Alle Körper nun, die durch Reiben elektrisch werden, sind entweder positiv oder negativ elektrisch, d. h. sie entwickeln unter denselben Verhältnissen immer wieder dieselbe Elektrizität. Welcher Art diese aber ist, können wir mittels des elektrischen Pendels untersuchen. Ist das Korkkügelchen durch Berührung mit einer geriebenen Glasröhre positiv elektrisch geworden, so daß es von der Siegellackstange angezogen wird, so wird es in gleicher Weise jedem negativ elektrischen Körper folgen, von jedem positiv elektrischen aber abgestoßen werden. Das Verhalten der beiden Elektrizitäten gegeneinander können wir durch den Satz ausdrücken: Gleichnamige Elektrizitäten stoßen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an. Auf dieses Verhalten gründet sich das Elektroskop, das wir bei der Besprechung der Elektrisiermaschine werden kennen lernen, sowie das Elektrometer, von dessen Einrichtung, wie sie ihm sein Erfinder Bennet gegeben, Fig. 333 eine Ansicht zeigt. Es besteht das Wesentliche des kleinen Apparates in zwei kurzen Stückchen Strohhalm oder Goldblättchen oder sonst leichten Körperchen, die mittels eines leitenden Drahtes an einer metallenen, sonst aber isolierten Kugel aufgehängt sind. Wird dieser Kugel Elektrizität mitgeteilt, so daß die Strohblättchen beide gleichnamig elektrisch werden, so werden sie einander abstoßen, und die Größe des Winkels, um welchen dies geschieht, läßt einen Schluß auf die relative Stärke der elektrischen Erregung zu. In der Regel benutzt man den Apparat nur als Elektroskop, um überhaupt die Gegenwart freier Elektrizität und deren positive oder negative Natur nachzuweisen.

Wenn zwei mit gleicher Elektrizität geladene Körper miteinander in Berührung gebracht werden, so verteilt sich die Elektrizität, so daß eine gleichstarke Ladung auf den Körpern herrscht. Gleiche Mengen positiver und negativer Elektrizität dagegen heben sich, wenn sie zusammenkommen, in ihrer Wirkung auf. Es tritt der gleiche Zustand ein, wie ihn derjenige genießt, der mit 100 Mark Vermögen 100 Mark Schulden bezahlt hat. Natürlich bleibt jeder Überschuß in irgend einer Richtung für sich wirkend. Das Bestreben der beiden verschiedenen Elektrizitäten, sich zu vereinigen, ist ein sehr großes; es ist die Ursache der Anziehung, welche ein elektrisch geladener Körper auf andre ausübt.

Obwohl über das eigentliche Wesen der Elektrizität — in welcher Weise nämlich dieselbe aus Wellen besteht, wie das Licht und die andern Kräfte — die Ansichten noch lange nicht geklärt sind, so lassen sich doch die bekannten Phänomene mit Hilfe einfacher Annahmen leicht erklären.

Eine solche Annahme ist denn auch die, daß in allen Körpern ein neutrales, aus gleichen Mengen positiver und negativer Elektrizität bestehendes elektrisches Gemisch vorhanden sei, das man als höchst feines Fluidum ansieht, ohne damit aber eine Eigenschaft erschöpfend bezeichnen zu wollen. Für sich macht sich dasselbe natürlich in gewöhnlichem Zustande der Körper in keiner Weise bemerkbar, denn die beiden Wirkungen müssen sich, wie eben gesagt, gegeneinander aufheben. Durch Reiben aber wird das elektrische Fluidum in dem reibenden sowohl als in dem geriebenen Körper getrennt, an der Berührungsfläche gehen die entgegengesetzten Hälften zu einander über und vereinigen sich wieder, in den abgewandten Teilen der Körper aber bleiben die andern Hälften gesondert. Wird z. B. Siegellack mit einem wollenen Lappen gerieben, so trennt sich in beiden Körpern das elektrische Gemisch in seine positiven und negativen Bestandteile; es vereinigt sich aber an der Berührungsfläche wieder die positive Elektrizität des Siegellacks mit der negativen aus dem Lappen, und schließlich bleibt daher im Siegellack die negative Elektrizität zurück; im Reibzeug aber würden wir, wenn wir demselben nicht mit unsrer Hand die Elektrizität entzögen, die positive Elektrizität nachweisen können. Wir wollen aber nicht verfehlen, ganz besonders hervorzuheben, daß die Ansicht von dem elektrischen Fluidum eben nur eine bildliche Annahme ist, welche die Erscheinungen sinnlich vergleichen läßt, durchaus aber nicht wörtlich dahin zu deuten ist, daß die Elektrizität eine wirkliche materielle Flüssigkeit wäre.



Fig. 338. Bennetsches Elektrometer.

Durch Reiben werden eigentlich alle Körper elektrisch, aber da die Leiter, wenn nicht besondere Vorkehrungen getroffen sind, die Elektrizität gleich wieder abgeben, so hat es lange Zeit gedauert, ehe man überhaupt die elektrische Erregbarkeit der Leiter erkannte. Wenn man aber einen Leiter mit nichtleitenden Körpern umgibt, ihn isoliert, so daß die Elektrizität nicht nach der Erde abfließen kann, so vermag man darin die Elektrizität festzuhalten und anzusammeln (Konduktoren). Sie scheint sich, wenn wir bei der Vorstellung eines Fluidums bleiben, auf der Oberfläche als eine Schicht auszubreiten, die bei einer Kugel überall von gleicher Dicke, bei anders geformten Körpern dagegen derart beschaffen ist, daß an den hervorragendsten Teilen sich die Elektrizität förmlich anstaut, an den flachen oder gar vertieften Stellen dagegen weit geringere Mengen sich ansammeln. Bei einer Hohlkugel, die oben eine kleine Öffnung hat, findet man an der inneren Oberfläche, selbst wenn die Kugel sehr stark geladen ist, fast gar keine Elektrizität; dieselbe sitzt nur an der äußeren Hülle. Wir kommen bei Besprechung des Blitzableiters noch besonders auf dieses eigentümliche Verhalten zurück. Jetzt wenden wir uns wieder unserm Hauptgegenstande zu.

Die Elektrisiermaschine. Das Wesentliche dieses Apparats besteht heute noch, wie schon bei der ersten Guerickeschen Einrichtung, in einem nichtleitenden Körper, welcher gerieben wird, und in einem Reibzeuge als Elektrizitätserzeuger einerseits und in einem Körper, welcher die dort erzeugte Elektrizität auf sich aufspeichert, dem sogen. Konduktor anderseits. Das Reibzeug steht mit der Erde in leitender Verbindung, der geriebene Körper dagegen ist isoliert. Guericke bediente sich, wie wir gesehen haben, seiner Hand als Reibzeug; ebenso verfuhr dreißig Jahre später noch Hawksbee, der aber anstatt der Schwefelkugel eine Glaskugel rieb, die er mittels einer Kurbel umdrehte. Die Unvollkommenheit dieser ersten Maschinen hat ihrer allgemeinen Anwendung lange im Wege gestanden; selbst Du Fay gebrauchte bei seinen Versuchen noch gewöhnliche Glasröhren, wodurch er nur geringe Elektrizitätsmengen erzeugen konnte. Durch Hausen, Bose und Winkler in Leipzig wurde dann die Elektrisiermaschine mannigfach verbessert und fand nun raschen Eingang. Der letztgenannte verband die Achse des Elektrizitätserzeugers, als welcher ein gewöhnliches

Bierglas fungierte, mittels einer Schnur mit einem Wirtel, der wie bei den Drechslerbänken durch einen Trittschemel in Bewegung gesetzt wurde; er brachte auch um 1740 an seiner Maschine zuerst das vom Drechsler Gießing in Leipzig erfundene Reibzeug an, welches mittels Federn an den rotierenden Glascylinder angedrückt wurde.

Der Konduktor, ein Leiter, gewöhnlich ein geschlossener Hohlcylinder von Metall, welcher die entwickelte Elektrizität aufzunehmen bestimmt ist, war schon früher in Gebrauch. Der Abbé Nollet isolierte ihn durch Aufhängen an seidenen Fäden; allein direkt mit der Maschine verbunden, so daß er die Elektrizität ohne weiteres auffaugte, wurde er erst von Wilson, welcher auch die noch heute gebräuchliche kammartige Form des Zuleiters mit gegen den Glaskörper gerichteten Spitzen erfand, mittels deren die Elektrizität aufgesaugt wird.

Es würde mehr als überflüssig sein, die zahlreichen verschiedenen Formen anzuführen, welche die Mechaniker der Elektrisiermaschine gegeben haben, denn nur wenige dieser Neuerungen, bis auf die Holtzsche Influenz-Elektrisiermaschine, welche auf einem ganz andern Prinzipe beruht und später von uns besprochen wird, können Anspruch auf wesentliche Bedeutung machen. Ob ein Glascylinder oder eine Glasscheibe gerieben wird, ist im Grunde ganz gleich; die in beiden Fällen eintretenden Veränderungen im Arrangement der einzelnen Teile ergeben sich als notwendig so von selbst, daß wir das allmähliche Auftauchen derselben getrost übergehen und ohne weiteres uns zur Betrachtung von Fig. 334 wenden können, um die allgemeine Einrichtung eines solchen Apparates in ihren wesentlichen Teilen kennen zu lernen.

Je nachdem der geriebene Körper eine Glasscheibe oder ein Glascylinder ist, spricht man von Scheiben- oder Cylindermaschinen. In unsrer Abbildung sehen wir eine der ersten Art dargestellt. Auf einem feststehenden Tische erheben sich zwei oben mit einander verbundene Ständer, zwischen denen die an einer durch die Kurbel M drehbaren Achse sitzende Glasscheibe P sich befindet. Sie wird oben sowohl als unten von beiden Seiten gegen die Reibzeuge kk' gepreßt, das sind mit Tuch oder dergl. überzogene Holzplatten, die auf der reibenden Seite mit dem sogenannten Kienmayerschen Amalgam (Quecksilber, Zinn und Zink, pulverisiert und mit Schweinefett zu einer steifen Salbe verrieben) bestrichen sind. Von den Reibzeugen gehen noch Lappen von Wachstaft aus G G, welche bei der Drehung der Scheibe sich an diese anlegen und das Ausströmen oder Ableiten der Elektrizität nicht nur verhindern, sondern selbst noch durch die eigne Reibung der Elektrizitätsmenge vermehren. Da die Scheibe von beiden Seiten gerieben wird, so sind diese Art Maschinen ausgiebiger an Elektrizität als Cylindermaschinen und werden da, wo die größeren Kosten der geschliffenen starken Glasplatten kein Hindernis sind, auch mit Vorliebe angewandt. Um die Scheibe greifen rechts und links zwei Bügel F F', die nach dem Glase hin mit Spitzen versehen sind, die Zuleiter; sie saugen die Elektrizität auf und führen sie dem Konduktor oder Sammler zu, hier zwei cylindrischen metallenen Körpern C C', die, mit ihren abgerundeten Formen auf vier isolierenden Glasfüßen v v liegend, durch eine metallene Leitung unter sich zwischen A A' verbunden sind. Auf dieser Verbindung, die als leitender Körper mit zu dem Konduktor gehört, befindet sich ein sogenanntes Elektroskop — Elektrizitätszeiger — das ist ein an einem geteilten Kreisbogen bewegliches kleines Pendel B, welches ruhig an seinem säulenförmigen Stativ I herabhängt, wenn der Konduktor keine Elektrizität enthält. Ist derselbe aber geladen, so teilt sich die Elektrizität auch dem Pendel und dem Stativ mit, die kleine Kugel wird von der gleichnamigen Elektrizität abgestoßen und schlägt aus. Je größer der Bogen ist, den sie macht, um so stärker ist die Ladung, die Spannung der Elektrizität. Eine metallische, leitende Kette führt von den Reibzeugen zur Erde.

Sobald nun die Scheibe in Umdrehung versetzt wird, beginnt durch die Reibung die Trennung des elektrischen Gemisches in Scheibe und Reibzeug, wie wir schon oben erwähnt haben, und infolge deren das Glas positiv, das Reibzeug aber negativ elektrisch wird. Durch das von letzterem herunterhängende Kettchen (die Ableitung) wird die erzeugte negative Elektrizität des Reibzeugs gleich bei ihrem Entstehen entfernt, dadurch wird auch die positive frei und kann auf den Konduktor übergehen. Dieser Vorgang findet ohne Unterbrechung statt, solange die Reibung anhält.

Der Konduktor oder vielmehr die Zuleiter wirken nun zwar eigentlich nicht, wie wir der Kürze wegen gesagt haben, durch Aufsaugung, vielmehr findet auch zwischen Glas und Zuleiter immer eine ähnliche Ausgleichung zweier Elektrizitäten statt wie beim Reibzeug. Das neutrale Elektrizitätsgemisch des Zuleiters trennt sich durch die Einwirkung von der Glasscheibe her, das negative Fluidum strömt durch die Spitzen nach der Scheibe über und neutralisiert die dort eben entwickelte positive Elektrizität, die frei werdende positive des Zuleiters geht nach dem Konduktor. Verbindet man, anstatt nach dem Erdboden abzuleiten, das Reibzeug auch mit einem selbständigen Konduktor, so kann man in demselben die negative Elektrizität ansammeln, und zwar genau so viel als die Scheibe positive erzeugt.

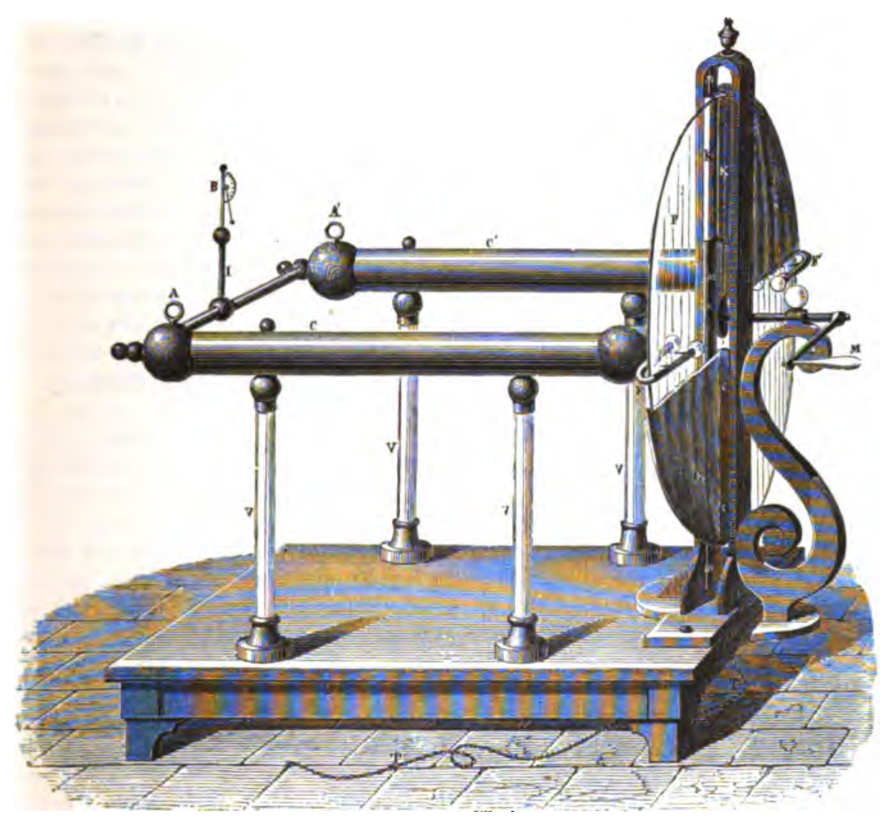


Fig. 334. Scheibenelektrisiermaschine.

Die in einem Leiter angesammelte Elektrizität springt auf einen genäherten andern über und gibt dabei die Erscheinung eines **Funkens** sowie eines mehr oder weniger starken **Knisterns**. Im luftleeren Raume erfolgt der Übergang stetig und geräuschlos.

Die Ladungsfähigkeit eines Konduktors hängt von der Größe seiner Oberfläche ab. Sie hat gewisse Grenzen und von einem zu stark geladenen Konduktor entweicht die Elektrizität nach und nach in die Luft, welche ja niemals absolut trocken ist, oder sie springt mit Blitz und Knall selbst auf weit abstehende gute Leiter über. Wer mit großen Maschinen operieren sah, findet es recht wohl möglich, daß die daraus schlagenden langen Blitze schon bedeutende Wirkungen auf den menschlichen Organismus auszuüben vermögen. Übrigens läßt sich die Entladung eines Konduktors auch ganz unmerklich, ohne Funken und Knall bewerkstelligen, wenn man ihm einen Ableiter entgegenhält, der in eine oder mehrere feine Spitzen ausgeht. Bei feuchter Luft hat die Elektrisiermaschine wenig oder gar keinen Effekt, und schon die Gegenwart mehrerer Menschen in einem geschlossenen Raume wirkt hinderlich durch die Feuchtigkeit, welche der Atem der Luft beimengt. Der Konduktor als guter Leiter

verliert mit einer einzigen Entladung fast seine ganze freie Elektrizität, während man der Glasscheibe wie allen Nichtleitern die Elektrizität nur allmählich als schwache Funken, etwa durch Annäherung eines Fingerknöchels, entziehen kann. Deswegen hat man mit dem geladenen Konduktor vorsichtig umzugehen und sich vor seinen Schlägen sorgfältig zu hüten. Anders jedoch ist es, wenn man vor Beginn des Ladens sich mit dem Konduktor durch Berührung desselben oder durch Erfassung eines von ihm ausgehenden Drahtes in Verbindung setzt und sich auf eine isolierende Unterlage (Isolierschemel) stellt. Hier wird der menschliche Körper so gut wie der Konduktor geladen; er gibt Funken, wo man ihn berührt, sein Kopf zeigt im Dunkeln einen blassen Lichtschein, die Haare sträuben sich steif empor, denn sie sind alle mit Elektrizität geladen und fahren, indem sie sich gegenseitig abstoßen, auseinander wie die Goldblättchen am Bennetschen Elektrometer.

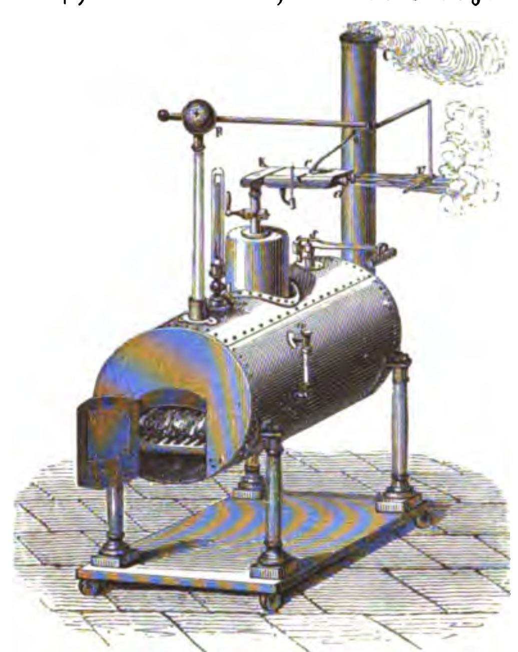


Fig. 335. Armstrongs Dampfelektrisiermaschine.

Dampfelektrisiermaschine. In neuerer Zeit hat man auch die Reibung des Wasserdampfes beim Ausströmen aus engen Öffnungen benutzt, um bedeutende Quantitäten Elektrizität zu entwickeln, und Armstrong in England hat 1840 daraufhin eine eigne Dampfelektrisiermaschine konstruiert, von welcher Fig. 335 uns eine Abbildung gibt. Er läßt den sehr gespannten Dampf beim Ausströmen gegen eine vielfach gebrochene Öffnung aus Buchsbaumholz stoßen, welche sich in dem bei c angebrachten Stück befindet, und nimmt ihm die durch Reibung erregte Elektrizität mittels eines zinkenförmigen Zuleiters v ab. Mit diesen Spitzen steht ein Konduktor B in Verbindung, der die Elektrizität sammelt. Der Dampf wird in einem besonderen Kessel entwickelt, dessen Ventil s so lange geschlossen gehalten wird, bis die nötige Spannung erreicht ist.

Fig. 336. Leidener Flasche.

Verteilung. Elektrizität von gewisser Beschaffenheit hat immer das Bestreben, sich mit solcher von entgegengesetzter Beschaffenheit auszugleichen. Dies Bestreben wirkt in die Ferne, so daß, wenn man einem geladenen Konduktor einen Leiter nähert, in diesem durch die Anziehung vom Konduktor aus die Elektrizitäten geschieden werden. Die mit dem Konduktor gleichnamige flieht nach den entferntesten Teilen und kann hier abgeleitet werden, die entgegengesetzte wird nach den dem Konduktor zunächst gelegenen Punkten gezogen und häuft sich dort an, indem sie, wie man es nennt, von der anziehenden Kraft der Konduktorelektrizität gebunden ist. Die absperrende Luft verhindert die Ausgleichung; wird aber die Entfernung noch geringer, so erfolgt die Vermischung der beiden Elektrizitäten durch einen Funken. Dieser Vorgang findet allemal statt, wenn ein elektrischer Funke von einem Körper auf einen andern überspringt; selbst wo die Elektrizität eines stark geladenen Körpers auf einen mit gleichnamiger Elektrizität, aber schwächer geladenen andern Leiter übergeht, ist eine solche Wirkung im Spiele.

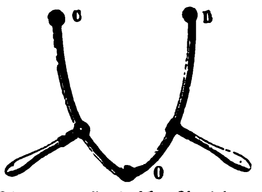


Fig. 337. Henleyscher Auslader.

Man kann diese merkwürdige Wirkung der Elektrizität, die Verteilung oder die Bindung, auf verschiedene Weise experimentell verwenden. Zunächst kann man bloß dadurch, daß man einem geladenen Konduktor einen andern nähert, die Elektrizitäten darin trennen und durch Ableiten der gleichnamigen Elektrizität den isolierten Leiter mit der ungleichnamigen sich laden lassen; sodann aber kann man durch das gegenseitige Binden in besonders konstruierten Apparaten sehr große Elektrizitätsmengen anhäufen und durch ihre Vereinigung bedeutende Effekte hervorrufen.

Die Franklinsche Tafel ist eine auf beiden Seiten (von der Mitte aus bis etwa 3 cm vom Rande) mit Stanniol belegte Glastafel. Wenn man die eine Seite mittels des Konduktors einer Elektrisiermaschine mit positiver Elektrizität ladet, so wird dadurch auf der gegenüberliegenden, dem Glase aufliegenden Fläche der zweiten Stanniolplatte ein gleichgroßes Quantum negativer Elektrizität angezogen, die zugehörige positive aber nach der Außenfläche getrieben. Von hier leitet man sie mit dem Finger ab. Die Stanniolplatten sind nun beide geladen, eine vom Konduktor aus, die andre durch Verteilung; trotzdem aber können ihre Elektrizitätsmengen keinerlei Wirkung ausüben, denn sie halten sich gegenseitig im Zaum, sie sind eben gebunden und durch die absperrende Wirkung des nichtleitenden Glases an ihrer Vereinigung gehindert. Sind sie stark genug, so vermögen sie wohl, um ihrem Bestreben nach Vereinigung und Ausgleich Genüge zu thun, die Glasscheibe zu durchschlagen und sich einen direkten Weg hindurchzubahnen; bei schwächeren Ladungen aber muß man über den Rand der Glastafel eine Leitung legen, um sie zu einander überzuführen. Indessen geschieht selbst bei ganz geringen Quantitäten das Überspringen dann noch mit großer Heftigkeit, und durch das Gefühl kann man den völlig verschiedenen Effekt bemerken, den der Funke einer Franklinschen Tafel und der eines Konduktors hervorbringen.



Fig. 338. Entladen der Leidener Flasche.

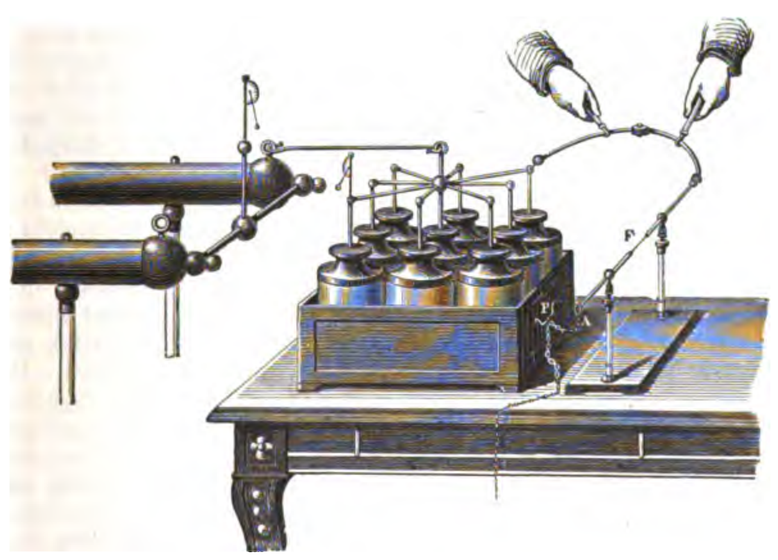


Fig. 339. Elektrische Batterie.

Die Leidener Flasche ist ein ganz analoger Apparat, dessen man sich zu größeren elektrischen Versuchen bedient. Sie ist eigentlich nur eine Franklinsche Tafel in andrer Form, denn sie besteht aus einem offenen Glascylinder oder auch aus einer Flasche, innen und außen bis auf etwa zwei Drittel ihrer Höhe mit Stanniol belegt. Mit der inneren Belegung in Berührung befindet sich eine Metallstange, welche in einen Metallknopf endigt. Man kann statt der inneren Belegung auch die Flasche mit Eisenfeile, Schrot und

dergleichen füllen. Sie wird geladen, indem man den Knopf des inneren Belegs mit dem Konduktor einer Elektrisiermaschine leitend verbindet, während man die Flasche in der Hand hält oder das äußere Belege sonstwie mit dem Erdboden in Verbindung setzt. Ihre Aufnahmefähigkeit und damit ihre Wirkung beim Entladen hängt von der Oberflächengröße der beiden Belege ab.

Mehrere solcher Flaschen so miteinander leitend verbunden, daß ihre inneren Belege mit derselben Elektrizität geladen werden, heißen eine elektrische Batterie. Die einzelnen Flaschen werden dabei auf eine gemeinschaftliche, mit der Erde leitend verbundene Unterlage gestellt, die Innenseiten aber durch Metallstäbchen, welche zwischen den Knöpfen der inneren Belege liegen, miteinander in Verbindung gesetzt und gleichzeitig geladen oder entladen. Fig. 336 zeigt uns eine einzelne Leidener Flasche, Fig. 339 eine Kombination mehrerer derselben, eine elektrische Batterie. C C' ist bei derselben der Konduktor, der durch eine Metallstange T mit den inneren Belegen der einzelnen Flaschen bei B in leitender Verbindung steht. Von den äußeren Belegen, die unter sich auch verbunden sind, führt bei P ein Draht C' die durch die Ladung frei werdende Elektrizität nach der Erde. Eine Verbindung des inneren und äußeren Beleges herzustellen, die Flasche zu entladen, bedient man sich, wenn man nicht andre Gegenstände des Versuches wegen in die Leitung einschieben will, des Henleyschen Ausladers. Derselbe ist in Fig. 337 abgebildet und besteht aus einem metallenen Kreisbogen, dessen beide Hälften C und D in einem Scharnier O beweglich sind und mit Hilfe der gläsernen Handgriffe ihre Kugelenden auf eine beliebige Weise voneinander einstellen lassen. Die darauf folgende Abbildung Fig. 338, zeigt eine andre Form des Entladers und seine Anwendung; ebenso wird in Fig. 338, wenn A bei P mit dem äußeren Belege verbunden ist, in dem Moment der Funke bei F überschlagen, wo zwischen A' und dem inneren Belege die Verbindung durch den Auslader hergestellt wird.



Fig. 240. Elektrophor.

Der Elektrophor, dessen man sich anstatt der Elektrisiermaschine bedienen kann, wenn es sich nur um Erzeugung geringer Elektrizitätsmengen handelt, beruht ebenfalls auf der Wirkung gebundener Elektrizität. Er besteht aus einem Harzkuchen, am besten aus Schellack und venezianischem Terpentin, welcher in eine kuchenförmige Platte ausgegossen ist und eine möglichst ebene Oberfläche ohne Risse haben muß. Dieser Kuchen, der bei einem Durchmesser von 25—50 cm etwa 1—2 cm dick sein kann, wird durch Peitschen mit einem recht trockenen Fuchsschwanz negativ elektrisch, d. h. er erhält Harzelektrizität. Legt man nun einen, mit einem isolierenden Handgriffe versehenen oder an seidenen Schnüren aufgehängten, etwas kleineren Deckel, der entweder aus einer ganz ebenen, an den Kanten abgerundeten Metallplatte oder aus mit Stanniol überzogener Pappe besteht, auf den Harzkuchen, so zerlegt die negative Elektrizität des letzteren das Elektrizitätsgemisch im Deckel, die + E sammelt sich an der unteren, die — E an der oberen Fläche, und man kann dieselbe, welche frei ist, ableiten, denn wenn man der oberen Fläche des aufliegenden Deckels den Knöchel des Fingers nähert, so springt ein negativ elektrischer Funke über. Solange der Deckel auf dem Kuchen liegt, ist die + E an der unteren Fläche gebunden; sobald er aber abgehoben wird, wird dieselbe frei und man kann sie ebenfalls in Funken aus ihm ziehen. Dieses Spiel kann man wiederholen, so oft man will, nur muß man während des Aufliegens des Deckels seine obere Fläche ableitend berühren. Dem Harzkuchen wird die durch Schlagen mitgeteilte Elektrizität auch nicht entzogen, sondern nur in einen Zustand der Bindung versetzt, aus welchem sie sofort wieder frei wird, wenn der Deckel abgehoben wird.

Influenz-Elektrisiermaschine. Könnte man die Wirkung des Elektrophors kontinuierlich machen, so würde damit eine neue Form für die Elektrisiermaschine gegeben sein. Dieser Gedanke leitete zwei deutsche Physiker, Töpler in Dorpat und Holtz in Berlin, und ließ beide zu gleicher Zeit selbständig zur Erfindung der „Influenz-Elektrisiermaschine" gelangen, durch welche unser Apparat, der seit der Zeit Otto von Guerickes zwar Verbesserungen, aber keine wesentlichen Umgestaltungen erlitten hat, eine auf vollständig neuer Grundlage basierende Einrichtung erhielt. In Fig. 341 und 342 geben wir zwei sich ergänzende Ansichten dieser Maschine, und zwar stellen die Zeichnungen diejenige Form dar, welche Holtz der gewöhnlich nach ihm benannten Elektrisiermaschine gegeben hat.

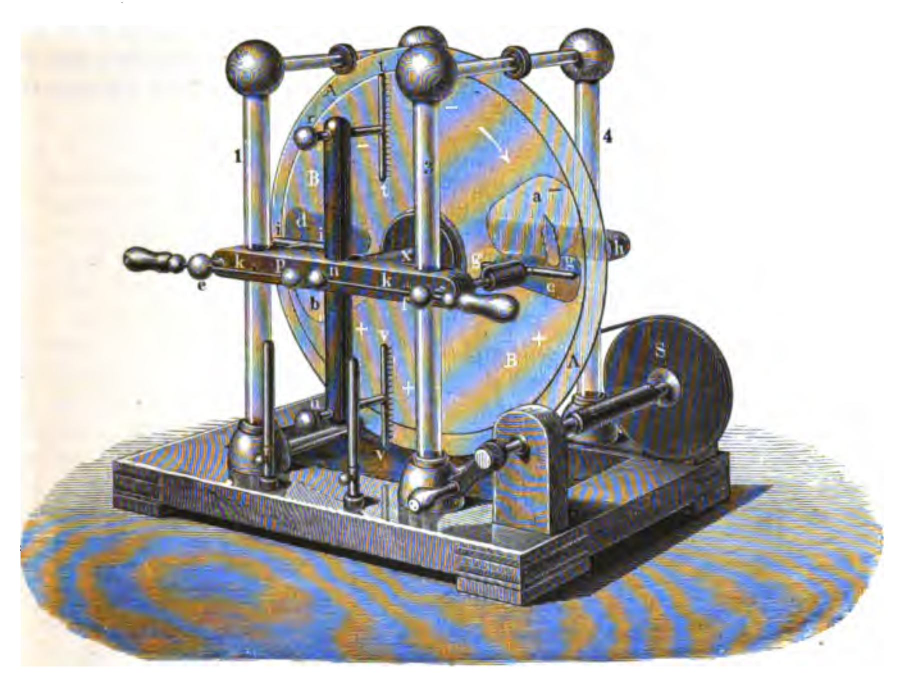


Fig. 341. Influenz-Elektrisiermaschine von Holtz. (Vorderansicht.)

Ihrer Einrichtung nach besteht sie aus zwei nahe aneinander liegenden Glasscheiben A und B, von denen die erstere etwas größer als die letztere ist und feststeht, während B sich mit Hilfe der Wirtel an den Scheiben S und S' (Fig. 342) in rasche Umdrehung versetzen läßt. Die Glasscheibe A wird festgehalten durch Ringe aus gehärtetem Gummi, sogenanntem Kammgummi, welche, an horizontalen, oben und unten von den vertikalen Glassäulen 1, 2, 3, 4 ausgehenden horizontalen Glasstäben sitzen. Sie ist in der Mittte kreisförmig ausgeschnitten, um der Welle Raum zu geben, welche die Scheibe B trägt. Diese Welle x geht mit stählernen Spitzen in den beiden, zwischen den Säulen 1 und 3 einerseits und 2 und 4 anderseits angebrachten Querstücken k und h. An dem erstgenannten dieser Querstücke sitzen außerdem noch die Konduktoren g und i; sie sind mit ihren Spitzen der Scheibe B zugekehrt und enden in die beiden Kugeln n und p, welche mittels ihrer in f und e verschiebbaren Stäbe einander genähert und voneinander entfernt werden können. Zwei andre Konduktoren t und v sind an einem senkrechten Stabe von Kammmasse (welche ein ausgezeichneter Isolator ist) angebracht und wird jener ebenfalls von dem Querbalken k getragen.

Nachdem wir so die einzelnen Bestandteile der Influenz-Elektrisiermaschine bezeichnet haben, können wir auf ihre Wirksamkeit näher eingehen. Es ist dabei vorher die eigentümliche Einrichtung der feststehenden Glasscheibe A noch ins Auge zu fassen, welche, wie aus Fig. 342 hervorgeht, nicht eine kontinuierliche Glasplatte darstellt, sondern zwei einander diametral gegenüberstehende Ausschnitte a und b zeigt. Diese Ausschnitte befinden sich an

der Stelle, wo ihnen die Kunduktoren g und i gegenüberstehen. Neben den Ausschnitten sind auf die Scheibe A Papierstücke c und d aufgeklebt und von jedem derselben ragt ein zugespitzter Streifen von Kartonpapier in die benachbarte Öffnung hinein. Das Ganze, Scheibe, Papierbelege und Kartenspitzen, ist mit Schellackfirnis überzogen.

Um nun die Maschine in Thätigkeit zu setzen, wird dem Belege c zunächst Elektrizität mitgeteilt. Nehmen wir an, es sei dies dadurch geschehen, daß man an das Belege eine mit einem Katzenfell gestrichene Platte von Harz oder von Kammmasse angehalten habe, so ist c also negativ elektrisch geworden. Die hier aufgespeicherte negative Elektrizität wirkt durch die Glasscheibe B derart verteilend auf den Konduktor g, daß in demselben die positive Elektrizität nach den Spitzen gezogen wird und durch diese auf die Glasscheibe B überstrahlt, die negative aber nach der Kugel n strömt, welche wir uns anfänglich an p anliegend zu denken haben. Von n geht die negative Elektrizität auf p über nach dem Konduktor i und strömt durch dessen Spitzen auf die Glasscheibe B aus an der Stelle, welcher das Belege d der Scheibe A gegenüberliegt.

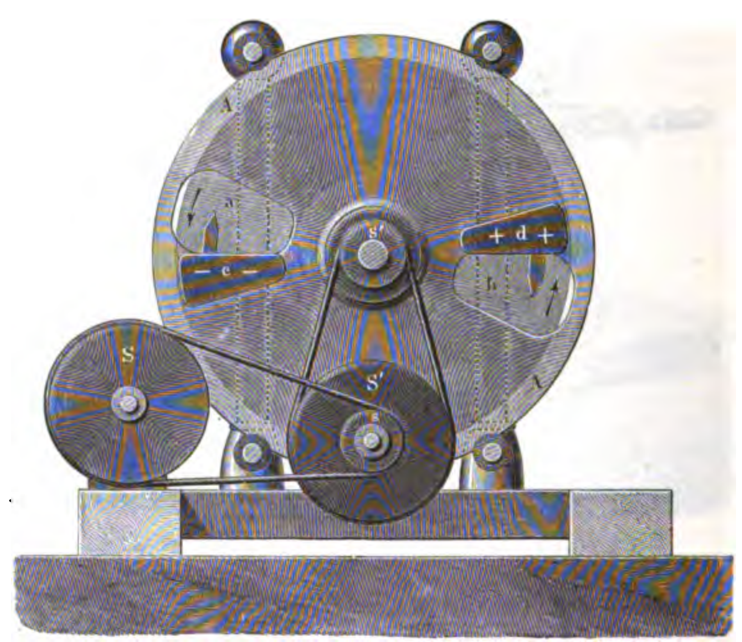
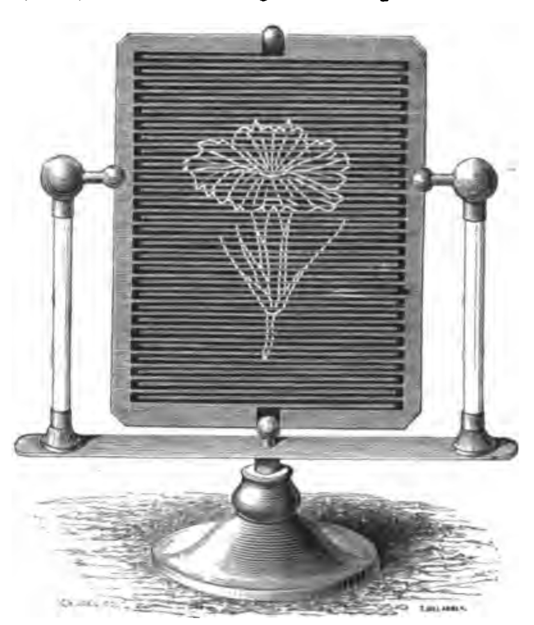


Fig. 342. Influenz-Elektrisiermaschine von Holtz. (Hinteransicht.)

Dieser Vorgang würde sehr wenig augenfällig werden, wenn die Scheibe B in ihrer Lage verbliebe, und jedenfalls würde die elektrische Ladung, die sie von g aus mit positiver, von i aus mit negativer Elektrizität erhielte, keine weitere Wirkung hervorbringen können, da sie gebunden bleiben müßte. Wenn aber die Scheibe B gedreht wird, wie es die Pfeile in unsrer Figur angeben, so kommen immer neue, noch nicht mit Elektrizität geladene Stellen der Glasscheibe den Konduktoren gegenüber, und man kann im Dunkeln beobachten, daß die Ausstrahlung von den Spitzen des Konduktors g eine fortgesetzte wird. Die bei gg mit positiver Elektrizität geladene Scheibe B behält diese Ladung, welche durch die Nähe der festen Scheibe A gebunden ist, bis sie dem Ausschnitt b gegenüberkommt. Hier wird die + E der Scheibe B frei und bewirkt in dem Belege d eine Verteilung derart, daß negative Elektrizität durch die Spitze des Kartenstreifens auf B überströmt, das Belege selbst aber sich mit + E ladet.

Dieses positive Belege d wirkt nun genau in derselben Weise auf den Konduktor i, wie das negative Belege c auf den Konduktor g, und zwar in dem Sinne, daß es die Ausstrahlung von negativer Elektrizität auf die Platte B noch befördert, in gleichem Maße

aber auch die positive Ausstrahlung von i vermehrt. Die Ladung der Belege wird solcher Art verstärkt, und infolgedessen wird die Platte B in der zweiten oberen Hälfte ihres Umlaufs durch das Spiel bei d mit einer stärkeren negativen Ladung versehen als es vorhin von c aus in positivem Sinne geschah. Jede halbe Umdrehung erhöht in dieser Weise die Spannung, und dieselbe wird bald so groß, daß die Konduktorkugeln n und p voneinander entfernt werden können, und der Funke, in welchem die Elektrizität übergeht, kann allmählich zu bei weitem größerer Länge ausgedehnt werden als durch die Elektrisiermaschinen der älteren Art. Von den Konduktoren aus kann man die Leidener Flasche laden, indem man das innere Belege mit dem einen, das äußere mit dem andern in Verbindung bringt u. s. w.


Fig. 343. Blitztafel.

Elektrische Versuche. Mittels der Elektrisiermaschine und der Leidener Flasche ist man im stande, eine große Zahl sehr interessanter Versuche anzustellen. Zunächst benutzte man früher namentlich die Anziehung und Abstoßung der Elektrizität zu mancherlei Spielereien. Man hatte elektrische Glockenspiele, elektrischen Kugel- und Puppentanz und andre Variationen desselben Themas, welche darin bestanden, daß zwischen zwei mit verschiedenen Elektrizitäten geladenen Platten, etwa dem Harzkuchen eines Elektrophors und dem dazu gehörigen Deckel, beide horizontal aufgehangen, leichte Körperchen angezogen und abgestoßen wurden. Aus Holundermark gab man ihnen verschiedene Gestalt.

Nicht minder baute man auf die Licht- und Wärmeerscheinungen des elektrischen Funkens allerhand Apparate, unter denen die Blitztafel und die Blitzröhren die bekanntesten sein dürften. Die erstere ist eine mit Stanniolstückchen mosaikartig belegte Glastafel; die Zwischenräume zwischen den kleinen Metallplättchen geraten dadurch, daß Funken über die Tafel hinweggeleitet werden, ins Leuchten, und man vermag so beliebige strahlende Muster zu erzeugen.

Die Blitzröhren aber sind luftleer gemachte Glasröhren, welche sternförmig um eine Achse angebracht sind und im Innern je ein paar Tropfen Quecksilber enthalten. Wird die Welle in Umdrehung versetzt, so fallen die Quecksilberkügelchen an den Glaswänden herab und erregen dabei durch die Reibung Elektrizität, welche den luftleeren Raum mit einem plötzlichen magischen Lichtblitz erfüllt.

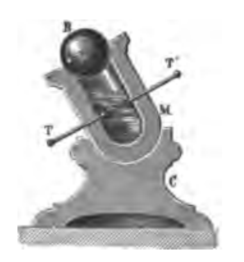


Fig. 344. Elektrischer Mörser.

Füllt man eine Röhre mit einem Gemisch von Wasserstoff- und Sauerstoffgas, so kann man dies entzünden und mit Gewalt eine Kugel aus der Röhre herausschießen lassen, wenn man zwischen zwei Drahtenden im Innern einen elektrischen Funken überschlagen läßt. Diese sogenannte elektrische Pistole ist im großen Maßstabe in der Lenoirschen Gasmaschine nachgeahmt worden. Schießpulver wird ebenso entzündet, und es ist in der Praxis davon zum Sprengen großer Felsmassen Gebrauch gemacht worden, ja man kann schon durch die Wärme, welche der elektrische Funke erzeugt, eine abgeschlossene Luftmenge so ausdehnen, daß sie, wie beim elektrischen Mörser (s. Fig. 344), wo der Funke zwischen T und T' zum Überschlagen gebracht wird, die absperrende Kugel B fortschleudert.

Im höchsten Grade interessant erscheinen besonders auch die Wirkungen der Leidener Flasche und der elektrischen Batterie. Mit Hilfe solcher Apparate erreicht man jedoch nicht so bedeutende Funken, wie aus den Konduktoren von Elektrisiermaschinen. Van Marum erhielt aus der großen Maschine im Teylerschen Museum in Leiden Funken von $0{,}_8$ m Länge, und Winter in Wien hat die nach seinem Plane umgebaute Elektrisiermaschine des dortigen Polytechnikums sogar zur Hervorbringung von Funken von 1 m Länge vermocht, solche extensive Funken treten bei der elektrischen Batterie nicht auf. Dafür sind dieselben aber weit intensiver.

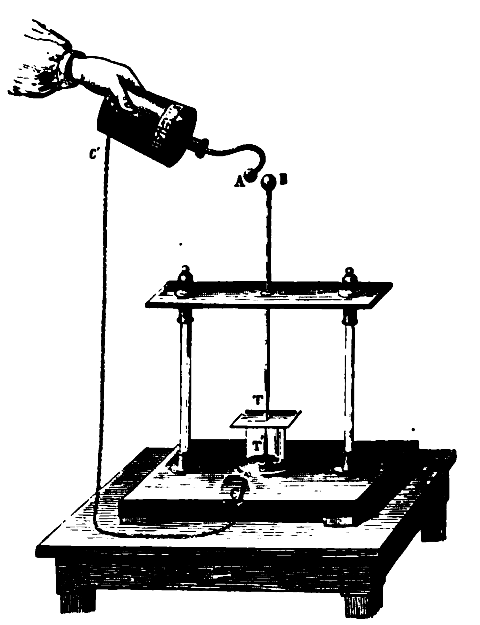


Fig. 345. Durchbohren von Glas mittels des Funkens einer Leidener Flasche.

Die Entladungen der Leidener Flasche geschehen mehr massenhaft, aber eben deshalb ist ihre Gewalt auch eine ganz besonders mächtige. Starke Papptafeln werden von dem Funken durchschlagen, Glasscheiben durchbohrt, wenn man, wie in Fig. 345, das äußere Belege durch ein Kettchen CC' mit einer Metallspitze T verbindet, der eine zweite T' gegenübersteht, welche ihrerseits durch B und A mit dem inneren Belege in leitende Verbindung gebracht werden kann. Zwischen den beiden Spitzen T und T', die sich möglichst nahe stehen müssen, wird die zu durchbohrende Glasscheibe gebracht; sobald A an B so weit genähert wird, daß die Elektrizität übergehen kann, trennt nur noch die Entfernung der beiden Spitzen T und T' die Elektrizität der beiden Belege, und bei nicht zu großer Entfernung kann die Spannung kräftig genug gemacht werden, daß der Funke direkt durch die Glastafel schlägt. Metallene Drähte geraten bei seinem Durchgange in lebhaftes Glühen, dünnere schmelzen, ja ganz feine Platin- oder Silberdrähte verbrennen mit blendendem Lichte und verstieben wie Nebel in der Luft. Daß solche Wirkungen auch den Nerven sehr fühlbar werden müssen, versteht sich von selbst. Während der Funke aus einem Konduktor nur eine prickelnde Erregung verursacht, kann die Entladung einer elektrischen Batterie einen Menschen augenblicklich betäuben, ja der Effekt ein noch gefährlicherer werden.

Um sich beim Experimentieren vor den immer höchst schmerzlichen, unbeabsichtigten Schlägen zu wahren, hat man daher bei der Behandlung dieser Apparate die größte Vorsicht nötig. Man muß immer acht darauf haben, daß der Körper nie in die Leitung zwischen dem inneren und äußeren Belege gerät.





Ist um mich her ein wildes Brausen,
Als wogte Wald und Felsengrund!
Und doch stürzt, liebevoll im Sausen,
Die Wasserfülle sich zum Schlund,
Berufen gleich, das Thal zu wässern;
Der Blitz, der flammend niederschlug,
Die Atmosphäre zu verbessern,
Die Gift und Dunst im Busen trug:
Sind Liebesboten, sie verkünden,
Was ewig schaffend uns umwallt.

Goethe.

Die Erfindung des Blitzableiters.

Das Gewitter. Wie dachten die Alten darüber? Versuche Neuerer zu seiner Erklärung. Theorie des Gewitters. Donner und Donnerkeile. Wirkungen des Blitzes. Blitzröhren. Schmelzungen, Entzündungen, Tötungen. Der Blitzableiter. Seine Wirkung. Vermögen der Spitzen. Geschichte. Einrichtung des Blitzableiters. Ob Spitze, ob Kugel? Auffangestange, Leitung und Versenkung.

Die dunkle, trübe Farbe, in die sich bei einem Gewitter der Himmel hüllt, das unheilverkündende Schweigen, welches dem nahen Ausbruch vorauszugehen pflegt, der Sturm und Wirbel, der die verderbliche Wolke über unser Haupt führt — sie scheint sich zu öffnen und läßt dem erschrockenen Auge in sich ein Meer von Feuer erblicken — fürchterliches Krachen, mit welchem der Donner sein lang anhaltendes Rollen anhebt, bis es endlich, durch das Echo in den verschiedenen Luftschichten unterhalten, in einem fernen finsteren Grollen dahinstirbt; vor allem aber der Blitz, der wie eine glühende Peitsche

auf die Erde zuckt und Tod und Verderben, wo er einschlug, zurückläßt — alle diese Phänomene, majestätisch und erschütternd, üben auf die Einbildung den mächtigsten Einfluß und lassen in der Kindheit der Völker die Vorstellung von dämonischen Äußerungen göttlichen Willens im Gewitter entstehen. Jupiter regiert die Welt und der Blitz ist das Werkzeug seiner Kraft. Wohl alle Religionsanfänge identifizieren die oberste Gottheit mit der Ursache der Gewitter, und solange eine naive Naturreligion sich unvermischt erhält, fragt man auch nicht nach andern Ursachen dieser Erscheinung.

Man nahm das Gewitter, wie die Sonne, das Wasser und die ganze Natur auf guten Glauben, ohne lange nach Gründen zu suchen, und ertrug die schädlichen Einwirkungen als eine Schickung mit demütiger Ergebung. Man konnte den Griffel nicht führen, der dem Blitze seine Bahn vorschreibt.

Erst nach der Reformation betrat man die wichtigen Wege, auf denen man den tieferliegenden Ursachen der Dinge nachgehen konnte. In bezug auf das Gewitter waren die aus diesem Bestreben hervorgehenden Ansichten freilich oft unglücklich genug. Man hielt den Blitz (Boerhave und Muschenbroeck noch, die sich eine schon von Aristoteles aufgestellte empirische Ansicht zurecht legten) für eine Entzündung in der Luft schwebender, brennbarer, öliger und schwefliger Dünste, denen man nach Bedürfnis — um die den Wirkungen des Schießpulvers ähnlichen Erscheinungen zu erklären — Salpeter beigemengt sein ließ. Descartes selbst meinte, daß der Blitz eine Lichterscheinung sei, die durch gewisse Zusammenziehungen von Wolkenpartien entstehe und mit denen eine große Wärmeentwickelung notwendig verbunden sein müsse; der Donner aber habe seinen Ursprung in dem Getöse, welches Wolkenmassen, wenn sie aus großer Höhe plötzlich auf niedriger liegende Wolken herabstürzen, hervorbringen müßten. Indessen ließen die Erfindung der Elektrisiermaschine und die damit anzustellenden Versuche bald Gesichtspunkte gewinnen, von denen aus die Unzulänglichkeit der bisherigen Erklärungsversuche sich klar an den Tag legen mußte.

Wall, ein englischer Physiker, war der erste (1708), welcher dem Licht und dem Knistern, das beim geriebenen Bernstein zu bemerken ist, eine gewisse Ähnlichkeit mit Donner und Blitz zuschrieb. Gray und Nollet sagten Ähnliches aus, und Winkler in Leipzig behauptete ganz entschieden die Identität der Erscheinung, und daß der einzige Unterschied zwischen dem aus dem Konduktor der Elektrisiermaschine gezogenen Funken und dem Blitz in der Stärke beider bestehe. Franklin aber, Benjamin Franklin, der große amerikanische Bürger, lieferte durch direkte Versuche den thatsächlichen Beweis für das Behauptete. Er holte mit Hilfe eines Papierdrachen, den er gegen eine Gewitterwolke aufsteigen ließ, die Elektrizität aus dieser herab, indem er die Schnur leitend machte, und experimentierte mit der aus den Wolken gelangten Elektrizität genau so wie mit der durch Umdrehung einer Glasscheibe erhaltenen, und weil wegen der größeren Menge, die er auf seinem neuen Wege erhielt, die Experimente viel glänzender ausfielen, so wurden die Franklinschen Versuche bald von allen Seiten wiederholt, und die gelehrte und nichtgelehrte Welt schwelgte eine Zeitlang förmlich in Elektrizität. Leider hat die unberechenbare Gewalt dieser Kraft in jener Zeit einige beklagenswerte Opfer genommen. Wurde doch der Physiker Richmann in Petersburg, ein erfahrener und vorsichtiger Experimentator, von einem aus der Leitung zuckenden Blitzstrahl erschlagen; um wieviel weniger dürfen wir uns wundern, wenn wir Leute ein unglückliches Ende nehmen sehen, die von der Sache nichts verstanden und nur den eiteln Ruhm mitgenießen wollten, den Blitz vom Himmel geholt zu haben!

Was ist das Gewitter? Wie gesagt, es ist nichts andres als ein großartiger elektrischer Ausgleich, der in der Luft vor sich geht. Der Blitz ist der elektrische Funke.

Überall auf der Erde sind die verschiedensten Thätigkeiten rege, in deren Folge sich Elektrizität massenhaft zu erzeugen und, durch den aufsteigenden Wasserdampf mit emporgeführt, allmählich in den Wolken anzusammeln vermag. Die dicke, feuchte Wolke verhält sich nun wie ein sehr wirksamer Konduktor, der große Mengen freier Elektrizität in sich aufgenommen hat. Sie muß daher auf die unter ihr befindliche Elektrizität verteilend wirken, die gleichnamigen (nehmen wir an die positiven) Teile derselben abstoßen, die ungleichnamigen, negativen anziehen, und sie in den zunächst gelegenen höheren Punkten, den

Gipfeln der Bäume, Dachfirsten, Turmspitzen u. s. w., ganz besonders ansammeln. — Es besteht also zwischen Wolke und Erde eine Spannung zweier Elektrizitäten, die sich vereinigen wollen, während die dazwischen befindliche Luft als schlechter Leiter der Vereinigung hinderlich ist. Aber dieses Hindernis wird endlich überwunden, entweder wenn die Wolke sich stärker ladet und dadurch die Spannung vermehrt wird, oder wenn sie selbst der Erde näher rückt; endlich, wenn hervorragende Gegenstände, wie hohe Gebäude und Bäume, sich der Wolke auch als eine Leitung entgegenstrecken; dann erfolgt die Ausgleichung in Gestalt eines zur Erde niederfahrenden Blitzes.

Wie auf die Erde, so wird die Verteilungswirkung einer stark geladenen Wolke auch auf andre Wolken stattfinden und beträchtliche Elektrizitätsspannungen hervorzurufen vermögen, und da sich die beiden Elektrizität führenden Körper leicht einander nähern können, so wird auch von Wolke zu Wolke ein viel leichterer und öfterer Ausgleich stattfinden als zwischen Wolken und Erdboden. Kommen zwei entgegengesetzt geladene Wolken einander nahe, so geht der Prozeß bisweilen in ganz ruhiger Weise vor sich, nur etwa daß Gestalt und Dichtigkeit der Wolken dabei sich verändern, die eine oder andre auch wohl ganz aufgelöst wird.

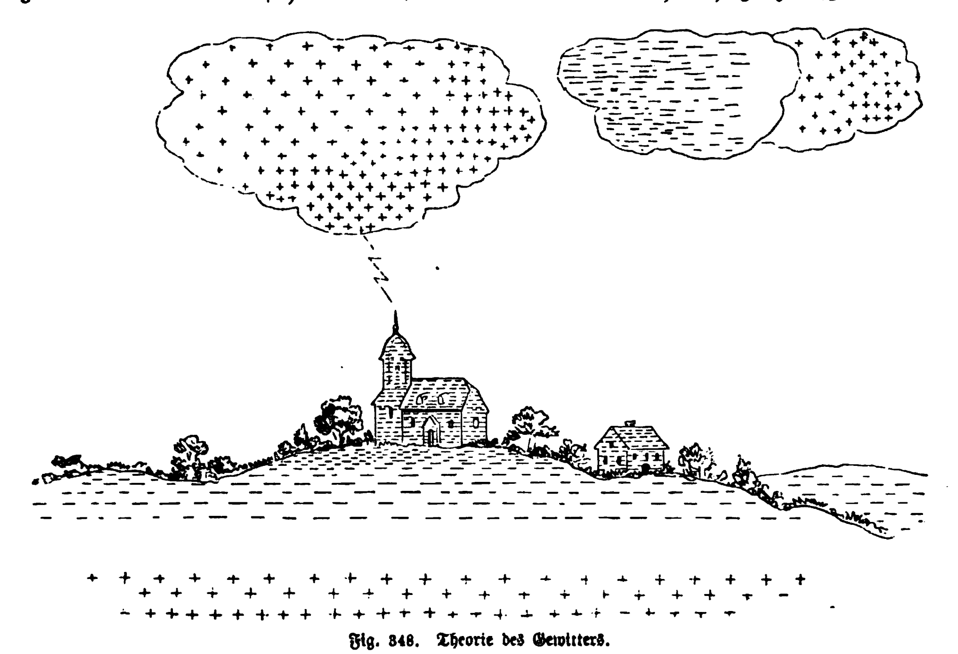


Fig. 348. Theorie des Gewitters.

Ist dagegen die Spannung zwischen den Wolken stärker und die Luft zwischen ihnen sehr trocken, so erfolgen die Entladungen in Form eines Gewitters, das die Wolken unter sich ausfechten, ohne daß ein Blitz zur Erde fährt. Die dabei auftretenden elektrischen Funken können von enormer Länge sein, und man will beobachtet haben, daß Blitze über Räume von 70 und mehr Kilometer hinwegschlagen.

Man nahm früher an, daß die Elektrizität der Gewitterwolken positiv sei; dies ist allerdings häufig der Fall, indessen kann es nicht als Regel gelten. Ebensowenig wissen wir in den einzelnen Fällen etwas über die direkte Ursache der atmosphärischen Elektrizität; denn wenn wir auch sehen, daß bei vielen atmosphärischen Prozessen, wie Verdunstung, Verdichtung, Erwärmung u. s. w., Elektrizität frei wird, so sind doch die bestimmenden Vorgänge so tausendfacher Art und, obgleich in der Gesamtheit so ungeheuer gewaltig, einzeln doch oft so verschwindend wenig wirksam, daß wir alle Ursachen, welche den großen Effekt einleiten, unmöglich aufdecken und verfolgen können. Wir müssen uns eben mit dem Faktum begnügen, daß, je nachdem von den über uns ziehenden Wolken die eine gerade positiv, die andre negativ geladen, die dritte vielleicht ganz unelektrisch sein kann.

Geht also eine — gleichviel wie — elektrisch geladene Wolke über die Erde dahin, so wirkt dieselbe verteilend auf das im Erdboden verbreitete elektrische Fluidum und zieht die der Elektrizität der Wolke entgegengesetzte Elektrizität an die zunächst gelegene Oberfläche; die andre mit der Wolkenelektrizität gleichnamige treibt sie nach unten. Daß der Funke in der Regel aus der Wolke nach der Erde fährt, mag wohl seinen Grund in der leichten Beweglichkeit der Wolke haben. Es ist jedoch nicht immer der Fall, denn die sogenannten Rückschläge zeigen uns Fälle, bei denen umgekehrt die Elektrizität von der Erde nach der Wolke hinaufzuckt, und sie sind ein thatsächlicher Beweis für die eben erwähnte Verteilungswirkung der Gewitterwolken (Fig. 348).

Was wir jetzt über das Gewitter wissen, das sucht seinen Ausgang in den Versuchen, die Benjamin Franklin angestellt hat. Benjamin Franklin, das 15. Kind einer Familie von siebzehn — war am 17. Januar 1706 zu Boston geboren worden. Seine Beschäftigungen mit den Naturwissenschaften, wie alles, was Franklin wußte und konnte, auf eigne Weise und durch eigne Methoden gewonnen, fallen erst in die vierziger Jahre, aber dessenungeachtet bezeichneten bald die hervorragendsten Erfolge das große Genie.

Infolge seiner Beobachtungen gelangte er denn im Jahre 1748 zu der festen Überzeugung, daß das Gewitter nichts andres als die Ausgleichung zweier entgegengesetzter Elektrizitäten, der Blitz ein mächtiger elektrischer Funke sei, und daß jener, wenn er einschlage, ganz so wie dieser an gut leitenden Körpern fortgehe, ohne auf seinem Wege nachteilige Wirkungen zurückzulassen; daß er jedoch beim Überschlagen von einem Leiter zum andern störende Einwirkungen, vornehmlich Zertrümmerungen, Schmelzungen und Entzündungen hervorrufen könne. Die Wahrnehmungen, daß sich der Blitz vorzugsweise auf spitze Hervorragungen, wie Türme, Masten, Bäume u. s. w., wirft, führte den praktischen Franklin auf den kühnen Gedanken, zu versuchen, ob sich nicht die Elektrizität aus einer Wetterwolke zur Erde leiten lasse, und so stellte er denn jenes berühmte Experiment an, dessen Lebensgefährlichkeit er freilich nicht ahnen mochte. Er fertigte einen großen Drachen aus Seidenstoff, spannte denselben über ein Gestell und befestigte am oberen Ende des mittleren Stabes eine eiserne Spitze. Die Leine, woran der Drache aufstieg, war ein gewöhnlicher hanfener Bindfaden, das untere Ende eine seidene Schnur, an deren Ende ein Stahlschlüssel als Handgriff hing. Mit dieser Vorrichtung ging Franklin einst im Sommer 1752, nur von seinem Sohne begleitet, dem er seine Absicht allein entdeckt hatte, beim Herannahen eines Gewitters auf eine nahe Wiese bei Philadelphia und ließ den Drachen steigen. Obwohl nun dieser hoch stand und die Gewitterwolken ziemlich dicht über ihn hinzogen, bemerkte Franklin nicht das geringste Zeichen von Elektrizität, und schon fürchtete er, daß seine Ansicht von der Natur des Gewitters doch nicht die rechte sein könne, als er, nachdem ein gelinder Regen den Faden angefeuchtet hatte, plötzlich zu seiner größten Freude wahrnahm, daß die losen Fäserchen der seidenen Schnur allesamt aufwärts strebten, gerade so, als wenn sie an dem Konduktor der Elektrisiermaschine gehangen hätten. Hocherfreut über diese Anzeichen von Elektrizität, die notwendig atmosphärisch, aus den Gewitterwolken herabgeleitet sein mußte, erforschte er die Erscheinung gründlicher, hielt ein Fingergelenk an den Stahlschlüssel, und ein starker, sehr sichtbarer Funke sprang auf seinen Körper über. Die Luftelektrizität wirkte also in gleicher Weise wie die künstlich erzeugte. Ein Glück für Franklin war es übrigens, daß die Schnur nicht ganz feucht war oder aus keinem besser leitenden Stoffe bestand; es hätte ihm sonst leicht das Leben kosten können. Bei späteren Versuchen gelang es, eine Leidener Flasche mit Luftelektrizität zu laden, welche alle die bekannten Erscheinungen zeigte. Auch stellte Franklin an seinem Hause eine isolierte eiserne Stange auf, um bequemer Versuche machen zu können, und versah sie an dem unteren Ende mit zwei Glöckchen, welche anschlugen, wenn die Luft eine bedeutende elektrische Spannung besaß.

Die Franklinschen Versuche, in deren Folge die Oxforder Universität den amerikanischen Bürger 1762 zum Doktor promovierte, wurden in der Folge häufig wiederholt und in zweckmäßiger Weise abgeändert. Ein Franzose de Romas z. B. band seinen Drachen an eine Schnur, welche mit einem Metalldrahte durchflochten war, ließ sie aber unten, um sich vor den Wirkungen des Blitzes sicher zu stellen, in eine andre, einige Meter lange,

von reiner Seide übergehen. Um den Funken nicht mit dem Finger hervorlocken zu müssen, gebrauchte er einen Metallleiter, welcher mit der Erde durch eine eiserne Kette in Verbindung stand und an einem nicht leitenden Handgriffe gehalten werden konnte. Der Drache stieg 180 m hoch und passierte Luftschichten, welche im höchsten Grade mit Elektrizität geschwängert sein mußten, denn de Romas erhielt binnen einer Stunde 30 Feuerstrahlen, deren jeder eine Länge von fast 3 m hatte und die ein Geräusch hören ließen, welches dem Knallen einer Pistole glich. Nach so glänzenden Erfolgen mußte der Glaube an alle früheren Fabeleien von öligen, salpetrigen Dünsten als Ursache des Blitzes vollständig vernichtet werden.

Der Donner. Zusammenhängend mit der Erkenntnis der Ursache des Gewitters klärten sich auch die Meinungen über die Natur des ganz unschuldigen Donners, der doch jedem Beobachter bei einem Gewitter den größten Schrecken verursacht. Er entsteht lediglich durch die Schwingungen der gewaltsam erschütterten Luft. Wenn der Blitz die Atmosphäre durchzuckt, erhitzt er die benachbarten Teilchen so ungeheuer, daß sie sich plötzlich auf das Vieltausendfache ihres früheren Volumens ausdehnen, gleich darauf aber auch wieder, wenn die Wärme sich verteilt, in sich zusammenstürzen. Es wirkt also dieselbe Ursache wie bei dem Flintenschuß, und die Reflexion des Schalles an den verschiedenen Wolkenschichten, Bergen und Wäldern ruft das Echo und das allmähliche Verhallen des Geräusches hervor. Da der Schall sich langsamer fortbewegt als das Licht, so sehen wir den Blitz eher und auf einmal in seiner ganzen Länge, während der Donner unser Ohr erst später und von den entfernteren Punkten des oft viele Meilen langen Funkens nur nach und nach erreicht. Nehmen wir an, ein Blitz fahre in einem Augenblick eine Meile weit dahin, so knallt es auch gleichzeitig auf allen Punkten dieser Linie. Aber es gibt keinen Ort, wo das Ohr alle diese Schallwellen zugleich auffangen könnte; sie gelangen nur allmählich bei dem Beobachter an und derselbe vernimmt daher den Knall als ein verlängertes Geräusch. Ohne uns nach dem Gewitter umzusehen, hören wir an dem Donner, sowie er stärker und stärker wird, sein Nahen. In der Nähe des Ortes, wo es einschlägt, vernimmt man bekanntlich gleichzeitig mit dem Blitz einen einzigen prasselnden Schlag; ist das Gewitter entfernt, so liegt je nach der Entfernung eine um so längere Pause zwischen Blitz und Donner.

Der Donner gibt uns ein bequemes Mittel, zu beurteilen, wie weit ein Gewitter von uns entfernt ist. Da Blitz und Donner gleichzeitig entstehen, die Fortpflanzung des Lichtes für irdische Entfernung als eine augenblickliche betrachtet werden kann, der Schall aber in derselben Zeit nur 340 m zurücklegt, so brauchen wir nur die Zahl der Sekunden, welche zwischen Blitz und Donner vergehen, mit 340 zu multiplizieren, um die Entfernung in Metern kennen zu lernen.

Die Sage von den Donnerkeilen, von denen man annahm, daß sie zugleich mit dem Blitz in die Erde geschleudert würden, mag wohl erst dadurch veranlaßt worden sein, daß man sich die Entstehung und regelmäßige Gestalt gewisser länglichrunder und vorn zugespitzter Steinformen, die man in manchen Gegenden nach heftigen Regengüssen an Berghalden oder in Thalgründen fand, nicht anders zu erklären vermochte. Seit man aber jene Bildungen auch in geschichteten Gesteinen eingebettet gefunden hatt, weiß man, daß es Versteinerungen vorweltlicher Tierreste sind, und weit entfernt, ihren Ursprung über unsern Häuptern zu suchen, hat die Geologie die Geburtsstätte dieser Belemniten vielmehr in der Tiefe schlammabsetzender Meeresbecken erkannt. Ebenso ist der Glaube an die besondere Natur des durch den Blitz entzündeten Feuers, daß dieses durch kein Mittel löschbar sei, ein Irrtum, der freilich lange genug gespukt hat.

Wirkung des Blitzes. Der Blitz an und für sich ist nicht heiß; er erzeugt erst die Hitze, wenn er bei seiner Fortbewegung Widerstand findet. In den oberen Regionen der Atmosphäre, wo die Luft so verdünnt ist, daß sie dem Ausgleich der Elektrizitäten kein Hindernis entgegensetzt; erfolgt das Blitzen als ein geräuschloses Wetterleuchten, während in den tieferen Luftschichten das Hemmnis der schlechten Luftleitung erst mit Gewalt durchbrochen werden muß. Findet der Blitz einen gutleitenden Körper von großem Querschnitt, so wird er in demselben herabfahren, ohne merkliche Spuren zu hinterlassen. Muß er sich aber durch dünne Drähte oder durch trockene, harzige Hölzer hindurchquälen, so erhitzt er dieselben bei solcher Arbeit auf eine ganz enorme Weise.

Ein Eisencylinder leitet 10000mal mehr Elektrizität durch sich hindurch als ein gleichgroßer Cylinder von Meerwasser, welches gewisse Salze aufgelöst enthält; dieser aber wieder 1000mal mehr als reines Wasser, und das reine Wasser ist ein noch viel besserer Leiter als trockenes Holz oder gar Schwefel, Harz u. dergl. Wenn aber bei alledem noch so bedeutende Elektrizitätsmassen in den Blitzen sich ausgleichen, daß selbst dicke Eisenstangen durch den hindurchfahrenden Funken geschmolzen werden, so darf es nicht auffallen, wenn andre, weniger gut leitende Körper davon ganz zerstört werden. Mit der großen Wärmeentwickelung hängen die enormen mechanischen Kraftleistungen zusammen, welche durch Blitzschläge ausgeübt werden. Wenn der Blitz in einen Baum schlägt, so sucht er seinen Weg vorzugsweise zwischen Rinde und Holz, in dem feuchten Splinte. Das Wasser verwandelt sich plötzlich in Dampf und dadurch erklärt sich die außerordentliche Zerreißung und Zersplitterung, die wir an vom Blitz getroffenen Bäumen beobachten können.

Derselbe Blitz, welcher die dicke Stange eines Blitzableiters nur mäßig erwärmt, schmilzt die Vergoldung von Bilderrahmen, über welche er hinwegfährt, vollständig ab. Humboldt erzählt in seinem „Kosmos", daß er auf seinen Reisen in Südamerika, wo allerdings die Gewitter mit einer bei uns unbekannten Heftigkeit wüten, manche Felsen auf der Oberfläche vom Blitze ganz verglast angetroffen habe. Die **Blitzröhren**, die man in ebenen, sandigen Gegenden gar nicht selten findet und oft eine Länge bis zu 12 und mehr Meter in einer Richtung oder in Äste verzweigt unter der Oberfläche des Bodens verfolgen kann, sind Sand und Bodenteile, von dem einschlagenden Blitze geschmolzen und zu röhrenförmigen Gebilden miteinander verkittet.

Man hat in den früheren mirakelsüchtigen Zeiten eine Menge wunderbarer Bildungen entdecken wollen, welche der Blitz ausgeführt habe, und selbst Gelehrte konnten nicht der Versuchung widerstehen, dergleichen zu berichten und ihnen merkwürdige Ursachen unterzulegen. So sollte bald durch die Lichterscheinung beim Blitz in eine Fensterscheibe die Zeichnung eines gegenüberstehenden Turmes eingebrannt worden sein; bald wollte man bei vom Blitz Erschlagenen auf Brust oder Armen Schriftzüge oder Kreuze oder Figuren von Gegenständen, die in der Nähe gestanden hatten, eingeätzt gefunden haben u. s. w. — und man sah von manchen Seiten darin eine, wenn auch noch unerforschte, aber doch wohl gesetzmäßige Art von Photographie. Alle dergleichen Erscheinungen sind aber ganz zufälliger Natur, von der erhitzten Phantasie erst ausgemalt. Dagegen bringt der Blitz gewaltige mechanische Wirkungen hervor.

In der Gegend von Manchester schlug am 2. August 1809 der Blitz ein. Ein Wetterstrahl fuhr zwischen einem Keller und einer Zisterne in die Erde und verschob eine Mauer von 1 m Dicke und 4 m Höhe, so daß der weggeschobene Teil an einer Seite mehr als 1 m, an der andern 3 m abstand, wobei natürlich alle hölzernen Verbindungsstücke zerbrochen waren. In dem bewegten Mauerstück befanden sich 7000 Backsteine mit einem Gesamtgewicht von 26 000 kg.

Es ist vorgekommen, daß der Blitz in den Masten von Schiffen geschlagen und dabei die Kompaßnadel in der Weise umgedreht hat, daß der Steuermann den Kurs plötzlich wieder nach Hause zu nahm und, falls ihm nicht Sternbeobachtungen seinen Irrtum aufdeckten, erst durch Anrufen begegnender Schiffe wieder auf die rechte Bahn gelenkt wurde. Bei der Besprechung des Magnetismus werden wir uns über den Grund dieser merkwürdigen Erscheinung unterrichten, die uns jetzt schon einen innigen Zusammenhang der beiden Kräfte ahnen läßt.

Blitzableiter. Nichts ist natürlicher, als daß man sich gegen die verheerenden Wirkungen des Blitzes zu sichern sucht, und die Beobachtung, daß hoch emporragende Gegenstände vorzugsweise den Blitz anziehen, mag — wofür manche Thatsachen zu sprechen scheinen — auch schon im Altertume gewisse Vorkehrungen haben treffen lassen, die im Wesen mit unsern heutigen Blitzableitern Ähnlichkeit hatten. Numa und Tullus Hostilius sollen die Kenntnis besessen haben, die schädlichen Wirkungen des Blitzes abzulenken. Es wird nicht gesagt, worin ihr Verfahren bestanden habe, vielleicht aber darf man es in Verbindung setzen mit der in alten Zeiten beliebten Aufstellung eherner Bildsäulen, um meteorische Funken herabzuziehen. Von den alten Indiern erzählt Ktesias, daß sie sich eines

gewissen Eisens bedient hätten, welches von ihnen zur Ableitung zündender Blitze aufgerichtet worden wäre. Die Tempel, namentlich der des Apoll, waren mit Lorberhainen umgeben, weil sie dadurch geschützt sein sollten, und zu Karls des Großen Zeiten war es Sitte, in den Feldern hohe Stangen zur Ableitung von Hagelwettern aufzurichten, was jedoch von dem großen Kaiser als abergläubisch verpönt wurde. Es ließen sich noch viele andre Citate anführen und Überlieferungen in der genannten Richtung deuten, indessen wollen wir unsre Aufmerksamkeit der auf erkannte Gesetzmäßigkeit natürlicher Vorgänge gegründeten Erfindung zuwenden, eine der segensreichsten aller Zeiten.

Die Gewitterwolken sind mit Elektrizität geladene Konduktoren. Nun ist aber für das Wesen der Elektrizität charakteristisch, daß dieselbe, wie wir gelegentlich schon angedeutet haben, auf der Oberfläche der Körper angehäuft, in einem Zustande des Zwanges sich befindet. Sie strebt fortwährend nach Ausgleichung und wird von der umgebenden Luft oder andern schlechten Leitern nur gehindert, diesem Bestreben Genüge zu thun. Je nach der Gestalt der Körper sind auch, wie wir ebenfalls schon gesehen haben, die Spannungsverhältnisse verschieden. Eine allseitig gleich gekrümmte Kugeloberfläche ist überall von den gleichen Widerständen umgeben, und daher bildet auf ihr die Elektrizität eine auf allen Punkten ganz gleichdicke Schicht. Setzen wir dagegen auf die Kugel eine hervorragende Spitze, so konzentriert sich in dieser die Elektrizität, und eine entsprechende Wirkung hat jede Ungleichheit der Körper, Ecken, Kanten u. s. w. Die Elektrizität sammelt sich in größeren Massen und mit größerer Spannung in den Spitzen an und strahlt endlich, wenn die Spitze fein genug ist, geradezu aus: eine Erscheinung, die wir im Dunkeln als einen glänzenden Lichtbüschel beobachten können.

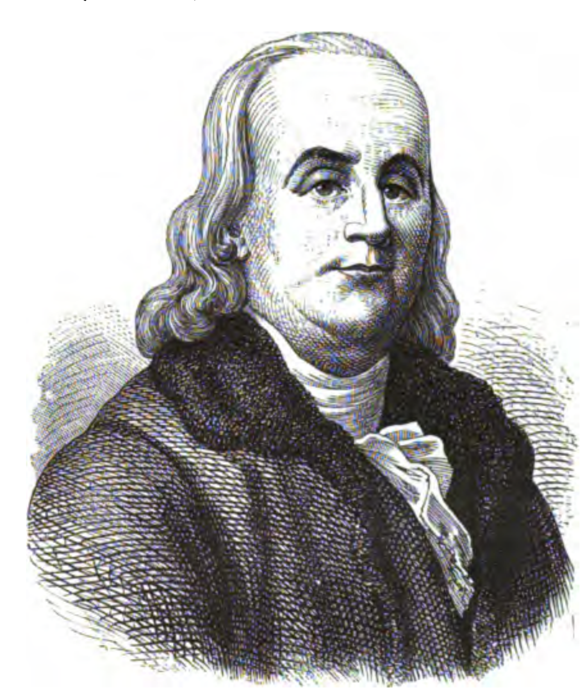


Fig. 349. Benjamin Franklin.

Dies sogenannte Vermögen der Spitzen haben wir schon in den Auffaugern der Elektrisiermaschine praktisch ausgebeutet gefunden, wir sehen es in der Natur bisweilen als den Grund einer merkwürdigen Erscheinung, deren Erklärung lange Zeit große Schwierigkeiten darzubieten schien, der sogenannten St. Elmsfeuer.

Es kommt vor, daß an gewissen schwülen Abenden sich über den Spitzen von Blitzableitern, über Turmknöpfen, an Ecken von metallenen Dachrinnen u. s. w. kleine blaue Flämmchen zeigen, die sich nicht auslöschen lassen und endlich ebenso von selbst wieder verschwinden, wie sie entstanden sind. Diese Erscheinung zeigt sich besonders häufig auch auf den Mastspitzen der Schiffe und sie galt bei den alten Griechen und Römern für ein Zeichen des baldigen Aufhörens des Sturmes. Zwei Flämmchen, Kastor und Pollux, waren glückbringend, und ein einziges, Helena, verderblich. Aus dem letzten Namen ist St. Elias, Elmen und Elmsfeuer entstanden.

Übrigens brauchen die Spitzen nicht allemal sehr hoch über den Erdboden empor zu ragen, man hat Flämmchen auf den Köpfen von Statuen, auf den Lanzen der Soldaten, auf den Hüten der Wandernden bemerkt; ja es werden Fälle berichtet, in denen die Ohren der Pferde dergleichen elektrische Lichtausstrahlungen zeigten.

Für uns hat das Phänomen nichts Rätselhaftes mehr, es ist das Ausströmen der Elektrizität, sei es, daß diese nur infolge der zu großen Spannung im Boden denselben verläßt, oder daß sie sich auf diese stille Weise mit der entgegengesetzten Elektrizität der Atmosphäre ausgleicht. Auf jeden Fall wird durch den Prozeß die Spannung vermindert und auf allmähliche, friedliche Weise ein Zustand des Gleichgewichts wieder vorbereitet, der durch den Blitz nur unter gewaltsamen, zerstörenden Aktionen herbeigeführt werden kann.

Der Blitzableiter hat denselben Zweck, und sein genialer Erfinder hat ihn in richtiger Erkenntnis jener Naturerscheinung auf das Vermögen der Spitzen gegründet.

Es dürfte kaum eine Erfindung geben, welche bei ihrem Auftauchen die ganze gelehrte und nichtgelehrte, fromme und profane Welt so in Aufregung versetzt hatte, wie die Franklins. Man fühlte ihre ungeheure Bedeutung — aber der Glaube, jenes liebe Kind der Gewohnheit, kam mit der Wissenschaft in Konflikt; der entstehende Kampf dauerte lange und hinderte die segensreiche Einführung. Es leuchtete vielen nicht ein, dem lieben Gott ein so bequemes Züchtigungsmittel wie den Blitz aus der Hand winden zu wollen. Anderwärts war es wieder die Nationaleitelkeit, welche einem Fremden für einen so herrlichen Gedanken nicht dankbar werden wollte. Während die amerikanische Regierung sich die allgemeine Unterstützung der Franklinschen Idee auf das höchste angelegen sein ließ, mäkelte Frankreich verdrossen daran herum, weil sie nicht von einem Franzosen ausgegangen war.

Es war im Jahre 1760, als Franklin den ersten Blitzableiter, der sich im wesentlichen in nichts von unsern heutigen unterschied, auf dem Hause des Kaufmanns West in Philadelphia errichten ließ; ein eiserner Stab von 3 m Länge und 27 mm im Durchmesser war von dem Gebäude durch schlechte Leiter isoliert und mittels einer metallenen Zuleitung mit der Erde verbunden. So einfach, wie dieser Apparat in seiner Ausführung damals war, ist er geblieben; denn alle Zuthaten von Platinspitzen, besondere Herstellung der Isolierung u. dergl. haben dem Wesen nichts Neues beigefügt. In dieser Einfachheit aber liegt zugleich die Bedeutsamkeit, die in ihrer Wirkung nicht gesteigert werden kann.

War es in Frankreich die Eitelkeit, so war es in England Nationalhaß, durch den Unabhängigkeitskrieg, in welchen beide Staaten damals eben verwickelt waren, entzündet und unterhalten, was die Adoption der Erfindung hinderte. Sie erfolgte in der That erst gegen das Jahr 1788, und nur die Sorge um die Schiffe konnte die Söhne Albions bestimmen, auf den Masten derselben Blitzableiter zu errichten. Ehe die letzteren auf Gebäuden Anwendung fanden, verging noch eine geraume Zeit.

Von ganz besonderem Einfluß wurde aber die Stimme des berühmten schweizerischen Physikers Saussure, welcher im Jahre 1771 auf seinem Hause in Genf einen Blitzableiter hatte errichten und, um die darüber entsetzten gottesfürchtigen Gemüter zu beruhigen, eine Broschüre über die Nützlichkeit der Elektrizitätsleiter hatte drucken lassen, die er gratis verteilte. Philadelphia hatte im Jahre 1782 auf seinen 1300 Häusern schon über 400 Blitzableiter; alle öffentlichen Gebäude, mit Ausnahme des Hotels der französischen Gesandtschaft, waren damit versehen. Und gerade in dieses Haus schlug am 27. März 1782 der Blitz. Er tötete einen Offizier, und nun allerdings ließ der Gesandte Frankreichs sein Palais mit der Schutzvorrichtung versehen.

Zu Hause erhoben der Abbé Nollet und de Romas ihre Stimmen ebenfalls, und nun, da eigne Landeskinder unterdessen ihren Ruhm eifrig an die Franklinschen Versuche mit geknüpft hatten, konnte die grande nation sich endlich 1784 mit der Sache ernstlich befassen. Wie England seine Schiffe, so hatte Frankreich, von jeher der größte Salpeterkonsument, dabei vorzüglich den Schutz der Pulvermagazine im Auge. Das Publikum, befangen und furchtsam, beteiligte sich aber hier wie anderwärts anfänglich sehr mäßig, und der Blitzableiter blieb lange Zeit hindurch ein Merkzeichen öffentlicher Gebäude. Die Regierungen mußten seine Einführung dekretieren und stießen dabei noch auf ärgerliche Widersprüche.

Schon im Jahre 1778 hatte die Republik Venedig ihre Marine mit dem neuen Wetterschutz versehen. Friedrich Wilhelm II. von Preußen ordnete im ganzen Umfange seiner Staaten die Aufrichtung von Blitzableitern an; merkwürdigerweise verbot er aber ausdrücklich, auf dem Schlosse Sanssouci einen solchen anzubringen.

Einrichtung des Blitzableiters. Der Natur der Sache nach besteht derselbe durchgängig aus Metall, und zwar würde das am besten leitende auch den Vorzug verdienen. Man nimmt indessen des geringen Preises wegen gewöhnlich Eisen, obwohl Kupfer bei gleicher Wirkung einen siebenmal kleineren Querschnitt haben könnte. Ein nicht zu unterschätzender Vorteil ist dabei aber, daß eiserne Blitzableiter durch die größere Stärke auch eine bedeutendere Festigkeit erhalten.

An dem Blitzableiter haben wir nun drei Hauptteile zu unterscheiden: die Auffangestange mit der Spitze, die in die Erde führende Leitung und die Versenkung der letzteren. Während die erstere immer stangenförmig ist, hat man für die zweite auch die Form von Streifen, Drahtseilen und hohlen Röhren angewandt. Anstatt der Spitzen hat man hier und da Kugeln aufsetzen wollen, indem man den Spitzen den Vorwurf machte, daß sie nicht im stande sein sollten, so große Massen von Elektrizität wie die Kugeln aufzunehmen, daß sie zu leicht vom Blitz geschmolzen würden, endlich auch, daß sie dem Funken ihrer Kleinheit wegen kein sicheres Ziel darböten, was alles bei den Kugeln anders sein sollte. Es beweisen dergleichen Einwendungen aber nur, daß die Widersacher vom Wesen und der Wirkung der Spitzen keine Vorstellung haben. Der Blitzableiter soll nicht den Blitz anziehen, vielmehr soll er durch unausgesetzte Ausstrahlung der Erdelektrizität die in der Luft vorhandene Elektrizitätsmenge neutralisieren, also nicht durch eine einmalige Ableitung schützen, sondern durch fortwährende Wirkung das Gleichgewicht der Naturkräfte wieder herstellen. Wenn ein Gewitter über Wälder mit spitz emporragenden Bäumen zieht, verliert es gewöhnlich seine Kraft, ohne daß es einzuschlagen braucht. In verstärktem Maße, wie hier jeder einzelne Baum wirkt, soll auch jeder Blitzableiter wirken. Die Kugel hindert aber einen derartigen Ausgleich; sie dient nur, um einen einfallenden Wetterstrahl aufzufangen; übrigens hat sie auch hierin nichts vor der Spitze voraus, denn diese macht durch Ausstrahlung die ganze umgebende Luftmasse elektrisch und bietet dadurch gewiß dem Blitz einen ebenso sicheren Treffpunkt dar. Abgesehen auch von allen architektonischen Bedenken, die sich den Blitzableitern mit Kugeln häufig entgegenstellen werden, sind also Spitzen unbedingt vorzuziehen. Man hat ihre Zahlen zuweilen vermehrt und drei, vier oder fünf auf einer und derselben Stange angebracht. Bei eisernen Auffangestangen macht man die Spitze der besseren Dauer halber gern von Kupfer und vergoldet oder platiniert sie.

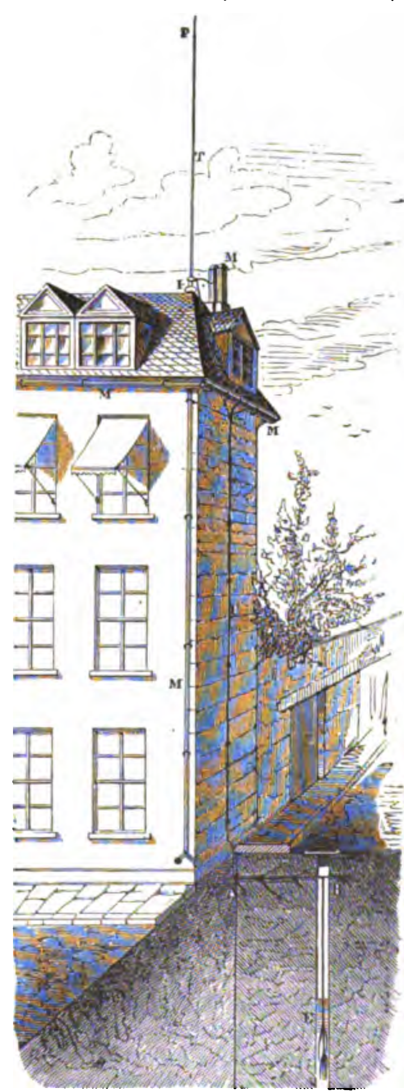
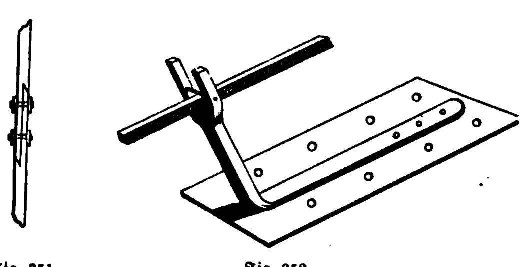


Fig. 350. Führung der Leitung.

Die Auffangestange I P, Fig. 350, ist der Teil, welcher sich vom Dache des Gebäudes in die Luft erhebt. Am besten gibt man ihm der größeren Widerstandsfähigkeit wegen die Form einer sich schwach verjüngenden vierseitigen Pyramide. Die Höhe ist verschieden, sie geht von 3—6 m, und nach der Höhe richtet sich ihr Querschnitt sowie weiterhin auch der Querschnitt der Leitung.

Wendet man Kupferdraht an, so windet man denselben zu einem spiralförmig gedrehten Zopf zusammen. Eiserne Auffangestangen stellt man aber aus mehreren Stücken dar, die aneinander durch Schraubengewinde zu befestigen sind und eine bequemere Aufrichtung gestatten. Am unteren Teile I, da, wo die Auffangestange auf dem First des Hauses aufsteht, hat sie ein kleines Regendach, um die Befestigung im Gebälk trocken zu halten. Nach der gewöhnlichen Annahme schützt eine Auffangestange einen Umkreis von 12—16 m Durchmesser, daher ein Gebäude von mehr als 20 m Länge mindestens zwei Stangen erhalten soll, größere Baulichkeiten nach Verhältnis. Überhaupt ist es besser, die Zahl der Stangen reichlich zu nehmen und alle hervorragenden Punkte damit zu besetzen.

Die Leitung I C setzt die Auffangestange mit der Erde in Verbindung. Wenn mehrere Stangen auf einem Gebäude stehen, so kann man sie durch eine Hauptleitung abführen, umgekehrt aber auch einer einzigen Stange zwei Leitungen geben; nur muß dann ein gewisses Verhältnis zwischen den Stangen und der Metallstärke des Ableiters beobachtet werden, damit die Elektrizität nirgends behindert ist. Die in die Erde geführte Leitung biegt einige Fuß unter der Oberfläche vom Hause ab bei A und endet am besten in einem Brunnen B E, oder wo dies nicht angeht, wird sie wenigstens so tief nach unten geführt, daß sie die beständig feuchte Erdschicht erreicht. Ist die Leitung von Eisen, so wird sie durch Anstriche möglichst vor Rost geschützt. Mögen übrigens die einzelnen Einrichtungen so oder so gemacht werden, die Hauptbedingung ist immer die, daß eine ganz ununterbrochene, nirgends zu schwache oder schadhafte metallische Bahn vorhanden sei, durch welche die elektrische Materie bequem in die Erde gelangen kann. An jeder Stelle, wo die Leitung unterbrochen oder stark vom Rost angefressen ist, liegt Gefahr, daß der Blitz abspringt und irgend einen bequemeren Weg zur Erde einschlägt, auf welchem er dann leicht durch Zündung oder Zertrümmerung Schaden stiftet. Daher ist es notwendig, die Leitung, als den wichtigsten Teil am ganzen Blitzableiter, dann und wann einer genauen Besichtigung zu unterwerfen, um etwa entstandenen Schäden sofort abhelfen zu können.


Fig. 351. Fig. 352.
Zusammensetzung und Führung der Leitung.

Man war früher der Ansicht, daß sich die Elektrizität an der Oberfläche der Körper fortleite, und daß es deshalb zweckmäßig sei, diese bei Wetterableitungen möglichst groß zu machen. Es ist dies jedoch ein Irrtum, denn der Widerstand, den die Elektrizität erfährt, hängt von dem Querschnitt ihrer Leitung ab. Wenn man daher, wie es so häufig geschieht, den Querschnitt auf das alleräußerste reduziert, so begeht man ein großes Unrecht, weil sich nirgends eine übel angebrachte Sparsamkeit schlimmer bestrafen kann, als gerade bei der Anlage von Blitzableitern. Unter 200 qmm als äußerste Grenze für eine eiserne Auffangestange und eine eiserne Leitung sollte nirgends herabgegangen werden dürfen, womöglich aber der Querschnitt der Leitungen so groß genommen werden müssen, wie die Querschnitte der Auffangestange zusammen, die in dieselbe münden. Die Leitung stellt man auch gewöhnlich aus eisernen Stäben oder aus starkem Eisenblech dar. Da es Schwierigkeiten bieten würde, sie aus einem einzigen Stücke zu machen, so setzt man sie aus mehreren zusammen und verbindet sie, wie es Fig. 351 zeigt, miteinander; die Zusammenstoßungsflächen müssen sich auf allen Punkten berühren und ganz blank aufeinander liegen. Die Führung über das Dach und am Gebäude hin bewerkstelligt man durch isolierende Träger, denen man die in Fig 352 dargestellte Form geben kann. Indessen ist es, wenn die Leitung nicht gerade nahe an großen, im Innern des Gebäudes liegenden Metallmassen vorüber geführt wird, nicht so notwendig, eine ganz vollkommene Isolierung, etwa durch Glas oder Porzellan, wie allzu ängstliche Gemüter wollen, anzuwenden. Wenn die Leitung hinlänglichen Querschnitt hat und ohne Unterbrechung bis in den feuchten Erdboden führt, wo sich die Elektrizität augenblicklich weiter verbreiten kann, so wird dieselbe immer den kürzeren

und bequemeren Weg vorziehen und nicht in Versuchung geraten, abzuspringen. Man wende daher anstatt kostspieliger Isoliervorrichtungen die Aufmerksamkeit lieber der möglichsten Vergrößerung des Querschnittes der Leitung zu. Mit der Leitung vom eigentlichen Blitzableiter setze man womöglich auch diejenigen Theile des Hauses in leitende Verbindung, welche durch ihr Material, metallene Dachrinnen u. s. w. oder durch ihre hervorragende Form, Ecken und Firsten, gelegentlich auch den Blitz anziehen können. Die in Fig. 350 mit M bezeichneten Gebäudeteile sind solche Punkte, auf welche man zweckmäßig die Leitung des Blitzableiters mit hinbeziehen kann.

Die Versenkung in den Erdboden ist der dritte wichtige Teil der Blitzableitung. Nach der oben entwickelten Theorie versteht es sich von selbst, daß die Wirksamkeit der ganzen Einrichtung davon abhängt, wie rasch die Elektrizität aus dem Boden durch die Leitung in die Auffangestange und aus dieser durch die Spitze in die gewitterschwangere Luft abströmen kann; anderseits im Fall des Einschlagens aber, wie schnell dann die Elektrizität aus der Leitung in den Boden übergehen kann. Für beide Fälle muß das Ende der Leitung in feuchtem Erdreich liegen, denn die zahllosen feinen Wasseradern, die den Boden durchziehen, sind ebensoviel leitende Äste, in denen sich der Blitzstrahl verzweigt, oder welche die neutralisierende Elektrizität herbeiführen. Wollte man die Leitung in trockenem sandigen Erdreich plötzlich abbrechen, so würde der Blitzableiter gefährlicher für das Gebäude sein, als wenn dasselbe gar keinen besäße; muß man doch selbst in feuchtem Boden die Ableitung noch eine Strecke weit fortführen, damit möglichst viel Ausstrahlungspunkte thätig sein können. Am zweckmäßigsten aber ist es, die Ableitung wie in Fig. 350 bei E zu verzweigen oder sie in eine Metallplatte ausgehen zu lassen, weil der bei weitem größere Widerstand der Erde nur durch einen größeren Durchmesser der leitenden Schicht paralysiert werden kann.

Bei der Restauration des Freiburger Münsters, welcher im Jahre 1844 nach Ficks Angabe mit Blitzableitern versehen wurde, fand man zahlreiche Spuren elektrischer Entladungen, aber alle waren an vorspringenden Metallteilen herabgegangen und hatten nur wenige Beschädigungen verursacht. Der neue Blitzableiter geht von dem als Wetterfahne dienenden metallenen Stern aus und besteht in einem aus sechs ungefähr 2 mm dicken Kupferdrähten zusammengesetzten Drahtseil, welches in die Erde geführt ist und womit alle Metallmassen des Domes durch 5 mm dicke Kupferdrähte in Verbindung gesetzt sind.

Die doppelte Wirkung des Blitzableiters, der Erdelektrizität ein stetiges neutralisierendes Abströmen in die Luft zu verstatten und so einmal das Gewitter selbst allmählich zu neutralisieren, ein andermal die Rückschläge abzuwenden, dann aber auch den in seiner Nähe herabfahrenden Blitzen einen so bequemen Weg zu bieten, daß sie ihn vorzugsweise einschlagen: diese Wirkung wird nur erreicht, wenn alle Anordnungen mit der größten Gewissenhaftigkeit getroffen und alle Bestandteile mit der ängstlichsten Genauigkeit gearbeitet und miteinander verbunden sind. Trotzdem ist man bei den atmosphärischen Prozessen nie Herr der Umstände. Es sind bemerkenswerte Fälle vorgekommen und dieselben treten noch ein, wo der Blitz die ganz vortreffliche Leitung vermieden und nahe dabei eingeschlagen hat. Im Magazin von Purfleet schlug der Strahl in eine eiserne Klammer, welche an einer oberen Ecke des Hauses nur 15 m von der Auffangestange angebracht war. Das Werkhaus zu Heckingham bei Norwich wurde am 17. Juni 1783 trotz seiner acht zugespitzten Auffangestangen an einer von der nächsten Stange nur 13 m entfernten und 2,5 m niedrigeren Ecke des Daches getroffen u. s. w. Allein das sind Fälle, die wir als Ausnahmen betrachten müssen. Im ganzen ist die Wirkung der Blitzableiter eine so außerordentliche, daß an ihrem Nutzen zu zweifeln Thorheit wäre.

Die französische Regierung hatte zur Untersuchung der Blitzableitungsfrage eine Kommission niedergesetzt, in welcher wir den Namen Arago, Biot, Poisson, Girard, Fresnel, Gay-Lussac unter andern nicht minder berühmten begegnen. Den Resultaten, welche diese Forscher ihren Arbeiten über den Gegenstand entnehmen konnten, dürfen wir die Gültigkeit eines Gesetzes zuschreiben. Die Kommission erklärte, daß ein Blitzableiter mit zugespitzter Auffangestange um sich her einen kreisförmigen Raum, dessen Radius gleich der doppelten Höhe der Stange sei, noch kräftig zu schützen vermöge, und gründete darauf zur Sicherung der Gebäude von verschiedener Länge und Breite auch Vorschläge, wie sie sich uns aus der

Anwendung des Gesagten ergeben. Sollte es aus baulichen Rücksichten nicht möglich sein, eine Auffangestange auf der durch diese Regel bestimmten Stelle anzubringen, so kann man die hervorragendsten Teile des Daches entweder durch Blei- oder Kupferstreifen miteinander und dann mit einer Hauptleitung verbinden oder wenigstens den Schornstein und die Ecken miteinander und dann mit der Erde in leitende Verbindung setzen. Wetterfahnen, Stangen, welche den Stern oder Knopf auf Türmen tragen, lassen sich, wenn sie nicht zu weit in das innere Gebälk hineinragen und den Glocken zu nahe kommen, ohne weiteres als Auffangestangen benutzen, und als eine treffliche Leitung dürften sich die Gas- und Wasserröhren verwenden lassen, welche bei verhältnismäßig großem Querschnitt den nicht genug zu schätzenden Vorteil darbieten, in sehr große in der Erde liegende Metallmassen überzuführen. In jedem einzelnen Falle muß freilich das Passende auch erst gesucht werden. Steht ein Haus auf einem Berge oder auf einer Hochebene fern von allen Punkten, welche den Blitz mehr anzuziehen vermöchten, so wird es selbstverständlich mehr zu schützen sein als in einem tiefen, waldigen Thale. Die Ausführung aber sollte nur erfahrenen, mit den physikalischen Gesetzen der dabei in Betracht kommenden Vorgänge vollständig vertrauten Technikern überlassen werden.

Welchen Segen die Erfindung des Blitzableiters gestiftet hat, das können wir zwar nicht in Zahlen ausdrücken, allein wenn wir bedenken, daß unsre Zeit die Wälder, die natürlichen Wälle, an denen sich die Wut der Gewitter brach, immer mehr reduziert und dadurch die Gefahr vergrößert, so müssen wir die thatsächliche Verminderung schädlicher Gewitterschläge jedenfalls als einen Erfolg betrachten, den wir der Erfindung des großen Amerikaners danken, und den schönsten Ruhm, der einem Sterblichen zu teil werden kann, ihm unverkümmert lassen:

Eripuit coelo fulmen, sceptrumque tyrannis.
Dem Himmel entriß er den Blitz, den Tyrannen das Zepter.

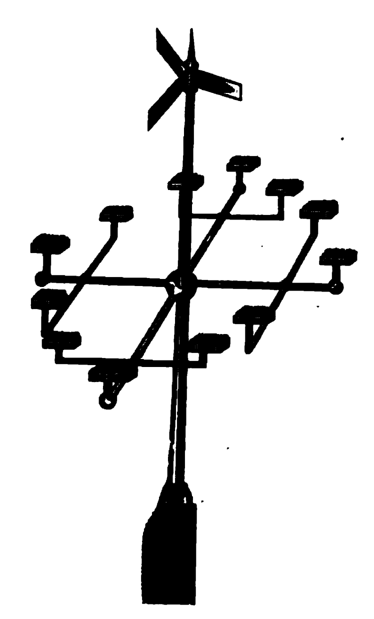
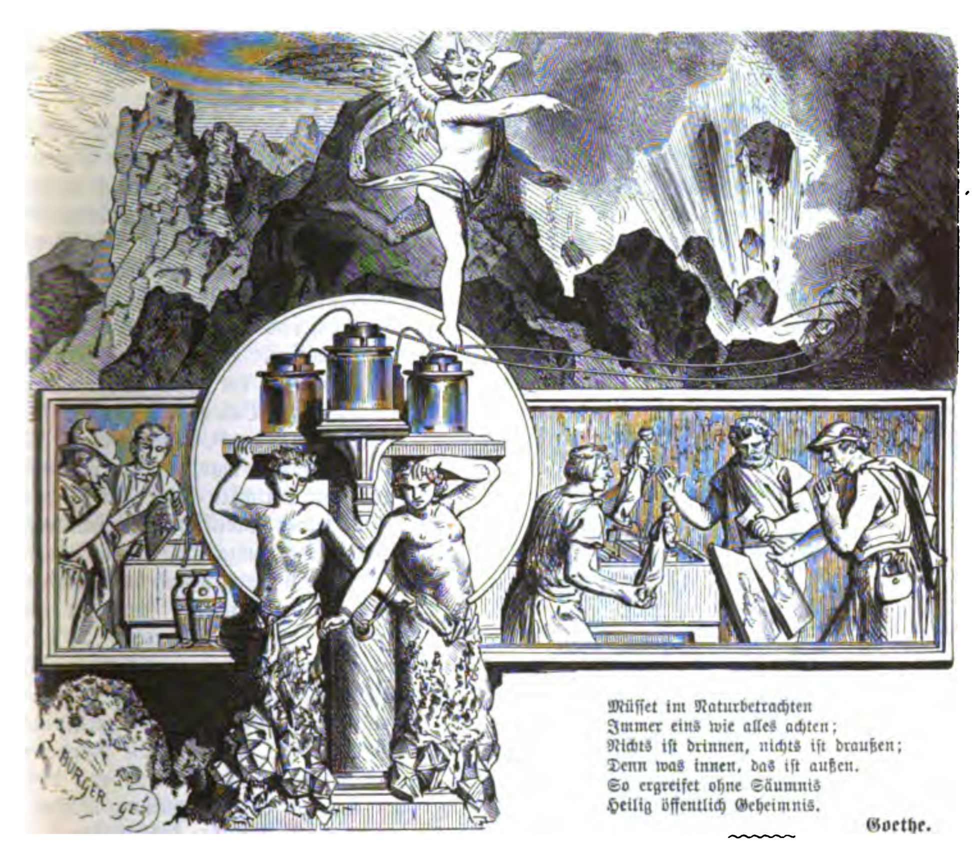


Fig. 858. Ansicht des angeblich um 1754 vom Pfarrer Procop Diwisch zu Brendit in Mähren erfundenen und auf der Idee möglicher Ausgleichung der gegensätzlichen Elektrizitäten beruhenden „Wetterleiters“.



Das Buch der Erfindungen. 8. Aufl. II. Bd. Leipzig: Verlag von Otto Spamer.

Elektrische Beleuchtung



Müsset im Naturbetrachten
Immer eins wie alles achten;
Nichts ist drinnen, nichts ist draußen;
Denn was innen, das ist außen.
So ergreifet ohne Säumnis
Heilig öffentlich Geheimnis.

Goethe.

Galvanismus, elektrisches Licht und Galvanoplastik.

Galvani und die Frösche. Elektrizitätserregung durch Berührung. Der galvanische Strom. Volta. Element und Säule. Verschiedene Formen derselben. Zambonische Säule. Der Trog- und der Becherapparat. Die konstanten Batterien. Akkumulatoren oder Sekundärbatterien. Bunsensche Kette. Wirkungen des galvanischen Stromes. Widerstand. Wärmeeffekte und ihre Anwendung. Das elektrische Licht. Bogenlicht und Glühlicht. Regulatoren. Duboscqlampe. Jablochkoffsche Kerzen. Soleillampe von Clerc. Stromverzweigung. Differentialregulator von Siemens. Die Glühlichter von Edison, Swan u. s. w. Chemische Wirkungen. Elektrolyse. Wasserzersetzung durch Humphrey Davy entdeckt. Die Galvanoplastik und die galvanische Veredelung. Verkupfern. Verstählen. Vernickeln. Versilbern und Vergolden.

Wenn die Frösche eine Zeitrechnung haben, so müssen sie das Jahr 1790 als einen Wendepunkt ihrer Existenz ansehen, und nach dem Schicksal, welchem sie seit jenem Jahre verfallen sind, wäre es nicht wunderbar, wenn sie von da ab ein ehernes Zeitalter rechneten. Denn jahrtausendelang hatte das kaltblütige Geschlecht seinen naturgemäßen Kreislauf vollendet, in freier Entwickelung sich entfaltet, gelebt und geliebt, durch nichts in seinen Bestrebungen unterbrochen, als etwa durch die Gelüste eines Gourmands, welchem aus dem zahllosen Geschlecht einige Schenkel geopfert wurden. Mit der französischen Revolution aber, wenn auch nicht durch dieselbe bedingt, verfielen die Frösche einem Verhängnis, dem sie kaum jemals wieder entgehen können. Gehetzt, gefangen, gequält, geschält, geköpft, getötet — ja, wenn es dies nur wäre, möchte es angehen, das müssen sich alle Geschöpfe gefallen lassen, deren Fleisch einen Braten, deren Haut einen Riemen, deren Feder einen Schmuck oder deren Saft sonst etwas hergeben kann. Mit dem Tode ist denn doch die Qual vorbei. Wenn der Maulwurf aber, indem ihn die vom Bauer gelegte tückische Schlinge in die Luft schnellt und heftige Atmungsbeschwerden seinem Leben die

größte Gefahr bereiten, wenn dieser den im nahen Sumpfe quakenden Frosch um den Vollgenuß des Lebens beneidet, so ist er dümmer als ein Esel. Sobald er das Sterben überkommen hat, ist seine Qual zu Ende. Beim Frosch geht sie da erst an.

Der Frosch ist seit 1790 ein physikalischer Apparat. Sein Leben gehört nicht mehr der Natur — es ist der Wissenschaft verfallen. Der Tod selbst hat diesem neuen Eigentümer gegenüber seine Macht verloren. Der Frosch darf, obwohl ihm der Kopf abgeschnitten, die Haut abgezogen, die Muskeln auseinander geschält, das Rückgrat durchstochen worden ist u. s. w. — er darf noch nicht zur Ruhe eingehen, auf das Geheiß des Physikers müssen seine Nerven sich noch regen, seine Muskeln noch zusammenzucken, bis das letzte Tröpfchen Lebensfeuchtigkeit vertrocknet ist. Wie der Hanswurst in der Komödie, muß er Munterkeit heucheln und tolle Sprünge machen, wenn ihm auch das Herz gebrochen ist.

Armes Tier! Und alles das hat Galvani auf dem Gewissen. Galvani, mit seinem vollen Namen Luigi Aloisio Galvani, war von 1775 an Professor der Anatomie an der Universität zu Bologna, seiner Vaterstadt, in der er am 9. September 1737 geboren worden war, und die er auch selten nur verlassen hat. Im Jahre 1797 seiner politischen Gesinnung wegen eine kurze Zeit von seinen Ämtern removiert, jedoch bald wieder in dieselben eingesetzt, starb er zu Bologna am 4. Dezember 1798. Seine Untersuchungen erstreckten sich außer auf rein anatomische Gegenstände auch auf solche von physiologischer Natur, wie auf die Nervenreizbarkeit, und dabei war es, daß der Anatom eine Entdeckung machte, an der die Physiker bisher spurlos vorübergegangen waren. Die Geschichte war aber so:


Fig. 355. Luigi Aloisio Galvani.

Die Gattin des Bologneser Naturforschers war krank, und zu ihrer Stärkung wurden ihr die Brühen von Froschkeulen verordnet. Eines Tages, wie erzählt wird am 6. November 1780, lag nun zufällig eine Anzahl zu diesem Zwecke abgehäuteter Frösche in dem Zimmer des Professors, welcher mit mehreren Genossen beschäftigt war, elektrische Versuche zu machen, da, wie er glaubte, der Elektrizität bei den Muskel- und Nervenfunktionen des Körpers eine wesentliche Mitwirkung zugeschrieben werden müsse.

Bei diesen Versuchen wurde bemerkt, daß die getöteten Frösche allemal in eigentümliche Zuckungen gerieten, wenn aus dem Konduktor der Elektrisiermaschine ein Funke schlug. Galvani vermutete eine Einwirkung der in der Luft enthaltenen Elektrizität auf die Nerven, und um diese zu erforschen, hing er präparierte Froschschenkel mittels eines gebogenen kupfernen Drahtes an seinem eisernen Balkongeländer auf und suchte sie durch Hin- und Herschwenken mit möglichst viel Luft in Berührung zu bringen. Indessen verhielten sich dieselben ganz ruhig; wenn sie aber bisweilen an das Eisengeländer anschlugen, dann zuckten sie bei jeder solchen Berührung heftig zusammen.

Diese Thatsache und eine Anzahl unter verschiedenen Abänderungen des Versuchs beobachtete, nicht minder merkwürdige Erscheinungen, welche Galvani mit genauer Schilderung der Umstände veröffentlichte, machte großes und gerechtes Aufsehen. Galvani dachte sich, daß durch die metallische Leitung eine besondere, der Elektrizität ähnliche Flüssigkeit, welche nach ihm die galvanische Flüssigkeit genannt wurde, von den Nerven zu den Muskeln übergeführt werde, und der Körper, der sich nach dieser Theorie wie eine geladene Leidener

Flasche verhalten würde, durch die Entladung in Zuckungen versetzt werde. Ein großer Teil der Gelehrten hielt ziemlich lange an dieser Erklärung fest, trotzdem sie sehr bald durch die ausgezeichneten Untersuchungen Alexander Voltas widerlegt und an ihre Stelle eine neue und bei weitem bessere Theorie gesetzt wurde.

Volta ist zu Como am 19. Februar 1745 geboren. Bis zu Ende der siebziger Jahre des vorigen Jahrhunderts war er Professor der Physik an dem Gymnasium seiner Vaterstadt, späterhin nahm er den physikalischen Lehrstuhl zu Pavia ein, bis zum Jahre 1804, wo er verabschiedet wurde. Napoleon I. ehrte den berühmten Forscher durch Ernennung zum Grafen und Senator von Italien; der Kaiser Franz im Jahre 1815 zum Direktor der philosophischen Universität zu Padua. Das Ende seines Lebens verbrachte der große Gelehrte zu Como; er starb hier am 5. März 1827. Nahe seinem Geburtshause hat man seinem Andenken eine Marmorstatue errichtet.

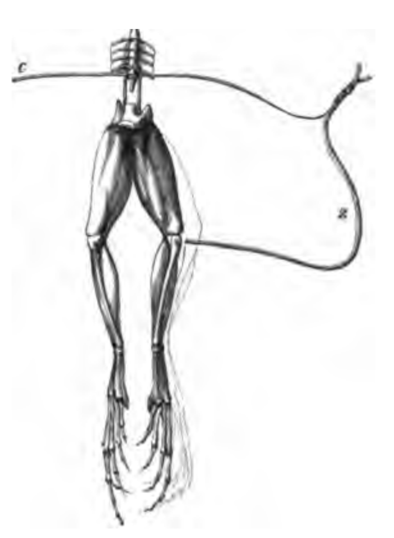


Fig. 356. Der Voltasche Versuch.

Der elektrische Strom, Galvanismus. Volta hatte als das Wesentliche in dem galvanischen Versuche erkannt, daß die metallische Leitung aus zwei verschiedenen Metallen, welche miteinander in Berührung gebracht werden, bestehen müsse, und unsre Leser können sich von den galvanischen Fundamentalversuchen selbst überzeugen, wenn sie nach Anleitung von Fig. 356 einen Kupferdraht c und einen Zinkdraht z miteinander verlöten oder auch nur durch Umwickeln in innige Berührung bringen, und mit dem einen Draht die Schenkelnerven, welche durch Abtrennung der untersten Rückenwirbel bloßgelegt worden sind, mit dem andern aber die Schenkelmuskel eines Frosches berühren. Bei jeder Berührung sowie bei jeder Unterbrechung der Berührung wird die Muskel in Zuckungen geraten und diese Empfindlichkeit erhält sich ziemliche Zeit noch nach dem Tode des Tieres. Volta zeigte, daß bei Berührung zweier verschiedener Leiter fortwährend Elektrizität entwickelt werde, und nahm an, daß an der Berührungsstelle das neutrale elektrische Gemisch, welches in allen Körpern enthalten sei (vergl. Seite 310) sich zerlege, die positive Elektrizität nach dem einen, die negative nach dem andern Metalle hin abströme. Da die Erzeugung und das Abfließen der Elektrizität ohne Unterbrechung fortdauert, so ist das Produkt ein galvanischer Strom genannt worden.


Fig. 357. Elektrizitätserzeugung durch Berührung.



Fig. 358. Galvanisches Element.

Diese Elektrizität selbst ist nur in der Art ihrer Entstehung von der durch Reibung erzeugten verschieden, in allen ihren Eigenschaften aber derselben entsprechend. Ihren Entdeckern zu Ehren nennt man sie Galvanismus oder Voltaismus. Zur Erzeugung eines elektrischen Stromes ist aber außer den beiden verschiedenen Metallen noch ein feuchter Leiter, der mit beiden in Berührung steht, notwendig, und wahrscheinlich ist der Ort der Elektrizitätsscheidung nicht an der Berührungsstelle der Metalle, sondern an der Kontaktfläche derselben mit der Flüssigkeit zu suchen.

Elektromotorische Kraft. Die Kraft, welche an der Berührungsstelle die Elektrizitäten scheidet, hat man elektromotorische Kraft genannt, ohne über ihre Natur eine scharfe Vorstellung zu haben. Es dürfte indessen als am wahrscheinlichsten angenommen werden, daß, wie bei der Elektrisiermaschine, die infolge mechanischer Kraftleistung erzeugte, hier die bei chemischen Prozessen frei werdende Wärme in Elektrizität umgesetzt wird. Denn

die chemischen Vorgänge spielen bei der Erzeugung der Berührungselektrizität eine so bedeutende Rolle, daß wir sie als eine allgemeine und notwendige Bedingung ansehen können, und wo es uns nicht gelingt, sie direkt zu beobachten, wir lediglich den Grund in ihrer Subtilität und der Unvollkommenheit unsrer sonstigen Erkennungsmittel suchen müssen.

Es liegt schon im Begriff des elektrischen Stromes, daß zur Erzeugung desselben die beiden berührenden Körper Leiter sein müssen. Deshalb erweisen sich namentlich die Metalle als ausgezeichnete Stromerreger. Allein die elektrizitäterregende, elektromotorische Kraft ist nicht bei allen gleichgroß, sondern es findet unter ihnen ein sehr merkwürdiges Verhalten sowohl in bezug auf die Qualität als auch auf die Quantität der Elektrizität statt. Während Kupfer, mit Zink berührt, negativ elektrisch wird und das Zink positiv, wird es, mit Gold in Kontakt gebracht, positiv und das Gold negativ, und so ist sein Verhalten, wenn es auch gegen dasselbe Metall immer dasselbe bleibt, doch gegen verschiedene auch ein verschiedenes.



Fig. 359. Alessandro Volta.

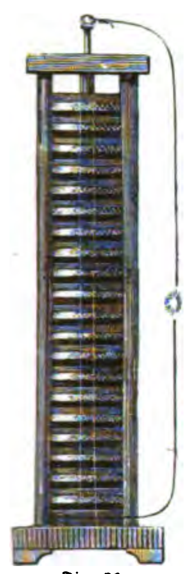
Auf Grund dieser Thatsache lassen sich die Leiter in eine Reihe derart nebeneinander stellen, daß jeder derselben negativ elektrisch wird, wenn er mit einem der vorhergehenden in Berührung gebracht wird; dagegen positiv, wenn er von einem der nachfolgenden berührt wird. Diese Reihe heißt die elektrische Spannungsreihe und ist für die hauptsächlichsten Elemente die folgende: Zink, Blei, Zinn, Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Platin, Kohle. Je weiter in ihr zwei Körper voneinander abstehen, um so stärker ist die zwischen ihnen waltende elektromotorische Kraft.

Galvanisches Element. In der einfachsten, abgerundetsten Form sehen wir den Vorgang des galvanischen Stromes bei einem sogenannten Elemente. Ein solches besteht aus weiter nichts als aus zwei verschiedenartigen Stücken Metall, die an der einen Seite sich berühren, während sie auf der andern durch eine leitende Flüssigkeit miteinander verbunden sind. In Fig. 357 ist z. B. ein Zinkstreifen mit einem Kupferstreifen an der oberen Kante zusammengelötet und in ein Gefäß mit Salzwasser gestellt. Die elektromotorische Kraft scheidet an den einander gegenüberliegenden Berührungsflächen der Metalle mit der Flüssigkeit die elektrischen Gemische, die positive Elektrizität sammelt sich auf dem Kupfer; die negative auf dem Zink, an der Lötstelle beider vereinigen sie sich. In dem Maße, wie die Vereinigung stattfindet, scheidet sich aber an den Berührungsflächen mit der Flüssigkeit wieder Elektrizität aus, die immer in derselben Art und ununterbrochen zur Vereinigungsstelle abströmt. Die Richtung dieses elektrischen Stromes ist man übereingekommen, nach der Richtung der positiven Elektrizität zu bezeichnen; man sagt also hier, der Strom bewegt sich innerhalb der Flüssigkeit in der Richtung vom Zink zum Kupfer, außerhalb der Flüssigkeit umgekehrt.

Es leuchtet ein, daß der elektrische Strom in derselben Weise stattfinden muß, wenn auch Zink und Kupfer nicht wie in Fig. 357 direkt miteinander in Berührung stehen, sondern wenn zwischen beiden ein andrer Leiter eingeschaltet ist, wie der die beiden Metallplatten a und b verbindende Draht in Fig. 358. Der Umstand, daß die Größe der eintauchenden Oberflächen für den galvanischen Effekt maßgebend ist, begünstigt ganz besonders die chemische Theorie der Stromentwickelung, welcher sich jetzt die Physiker immer

entschiedener gegen die ältere Kontakttheorie zuneigen, der zufolge die Elektrizität eigentlich aus nichts hätte entstehen müssen.

Die Voltasche Säule. Wie man in der elektrischen Batterie die Wirkung der Leidener Flasche durch Vereinigung mehrerer summiert, so kann man auch durch Aneinanderreihen einer größeren Zahl von Elementen die Effekte des galvanischen Stromes steigern, und es geschieht dies in der That überall da, wo zu irgend welchen Zwecken galvanische Elektrizität erzeugt wird. Volta, der Schöpfer der neuen Lehre, hat diesen seinen Gedanken verwirklicht, indem er 1800 die nach ihm benannte Säule erfand.



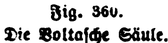


Fig. 360. Die Voltasche Säule.

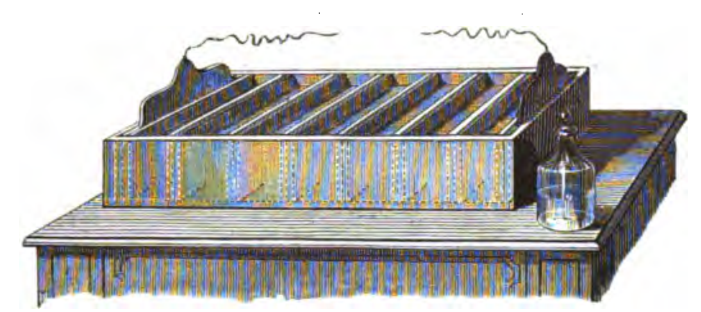


Fig. 361. Der Trogapparat.

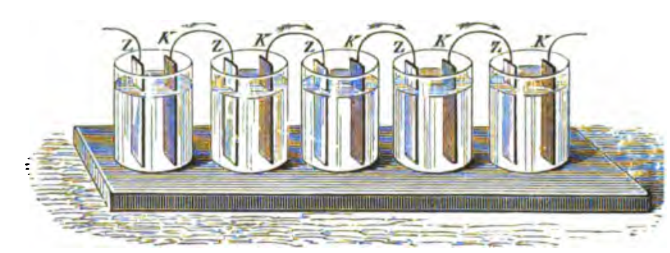


Fig. 362. Der Becherapparat.

Dieselbe besteht, wie es Fig. 360 zeigt, aus wechselsweise übereinander geschichteten Platten von Kupfer und Zink, welche paarweise voneinander durch zwischengeschaltete, gleichgroße und mit Salzwasser getränkte Filzdeckel getrennt sind. Diese feuchten Filzdeckel, die je nach Befinden ebenso gut durch ein Stück Tuch oder angesäuertes Löschpapier ersetzt werden können, vertreten die Stelle der Flüssigkeit in Fig. 357 und 358. In unsrer Abbildung sind sie durch die punktierten Schichten angedeutet, während die schwarzen Platten das Kupfer, die heller schraffierten das Zink bedeuten. Fängt die Säule unten mit einer Kupferplatte an, so schließt sie oben mit einer Zinkplatte. Der Name „Säule" erklärt sich aus der Form, welche Volta dem Apparat gegeben hat; sie ist übrigens unwesentlich, denn wir werden sehen, daß eine große Anzahl andrer Anordnungen dieselben, ja oft bessere Effekte geben können.

Die Voltasche Säule muß isoliert, d. h. außer leitende Verbindung mit dem Erdboden gesetzt werden. Man erreicht dies, indem man sie auf Glasfüße stellt und die Ständer, zwischen denen die Platten aufgeschichtet werden, ebenfalls aus Glas oder wenigstens aus gut lackierten Holzstäben verfertigt.

Untersucht man nun den elektrischen Zustand der Säule, so findet man, daß sie in der Mitte sich völlig neutral verhält, daß aber nach den beiden Enden zu die elektrische Spannung wächst und endlich ihren höchsten Grad an den beiden äußersten Plattenpaaren erreicht. An dem Ende, nach welchem hin die Zinkplatten liegen, finden wir die Summe aller positiven Elektrizität, an dem andern die gesamte negative, und deswegen heißen Anfang und Ende: die beiden Pole, positiv und negativ. Die Spannung der Elektrizität wächst mit der Anzahl der Plattenpaare oder Elektroden, die Menge der erzeugten Elektrizität mit der Größe der sich berührenden Platten.

Solange die Pole der Säule nicht miteinander in Berührung gebracht werden, ist auch keinerlei Wirkung ersichtlich. Erst wenn ein Draht oder sonst eine Leitung dazwischen eingeschaltet wird, bemerken wir die Effekte, welche ihrer Erscheinung nach sowohl rein physikalische als physiologische und chemische sind.

Bevor wir uns aber zu ihrer Betrachtung wenden, wollen wir den verschiedenen Abänderungen, welche die Voltasche Säule nach und nach erlitten hat, unsre Aufmerksamkeit zuwenden, zumal dieser Gegenstand in der Telegraphie, der Galvanoplastik u. s. w. eine große Bedeutung erlangt hat.

Zunächst ist die Zambonische Säule in ihrer Einrichtung ganz der Voltaschen entsprechend; nur besteht sie nicht aus massiven Metallplatten, sondern aus Gold- und Silberpapier, von denen je zwei Blatt mit den Metallseiten aneinander gelegt und diese Plattenpaare in entsprechender Reihenfolge aufgeschichtet sind. Das Papier, welches immer etwas Wasser aus der Luft anzieht, vertritt hier die Stelle des feuchten Leiters. Natürlich kann eine solche Säule keine starken Effekte geben; da man aber bequem mehrere Tausend Papierblätter aufeinander legen kann und die Elektrizitätsentwickelung, wenn auch der mangelhaften Leitung wegen langsam, so doch lange Zeit andauernd stattfindet, so läßt sich die Zambonische Säule doch für manche Zwecke recht gut verwenden (sog. Perpetuum mobile, Elektrometer u. s. w.); eine weitergehende praktische Bedeutung hat aber diese, auch Trockensäule genannte Anordnung nicht.

Der hauptsächlichste Übelstand, welcher der Voltaschen Säule anhaftet, ist der, daß die Wirkung derselben keine stetige, lange andauernde ist, sondern daß sie, obwohl im Anfange sehr kräftig, nach kurzer Zeit nachläßt und immer schwächere Elektrizitätsentwickelung zeigt. Der Grund davon liegt in der chemischen Wirkung des galvanischen Stromes. Derselbe verursacht nämlich eine Zersetzung des Wassers im feuchten Leiter, der Sauerstoff geht zum Zink und verbindet sich mit diesem zu Zinkoxyd, welches sich in der säurehaltigen Flüssigkeit auflöst; der Wasserstoff dagegen geht zum Kupfer und setzt sich hier in Form kleiner Bläschen an, welche nun an all den einzelnen Punkten die direkte Berührung des Kupfers und der Flüssigkeit hindern und so der Elektrizitätsentwickelung schaden; die Säule wird, wie man sagt, polarisiert. Innerhalb einer Säule wie Fig. 360 kann man sie aber schwer entfernen, wenn man nicht den ganzen Bau auseinander nehmen will. Darum und auch weil durch das Gewicht der darüber lastenden Plattenpaare die Flüssigkeit aus den unteren Filzdeckeln ausgequetscht und damit eine schädliche direkte Leitung zwischen den einzelnen Plattenpaaren herbeigeführt wird, hat man die einzelnen Elemente nebeneinander in einen länglichen, viereckigen Kasten zusammengestellt und die dazwischen entstehenden Zellen mit der leitenden Flüssigkeit ausgefüllt. Dies ist der sogenannte Trogapparat (Fig. 361), welcher dadurch noch eine Abänderung erfahren hat, daß man für die Zellen einzelne Gefäße anbringt und die Elemente in der Weise miteinander in Verbindung setzt, wie es Fig. 362 (Becherapparat) andeutet. Die Richtung, in welcher der Strom sich bewegt, ist in letzterwähnter Abbildung durch die kleinen Pfeile angedeutet worden. Man hat bei diesen Arrangements den Vorteil, leicht jedes einzelne Element herausnehmen zu können. Eine solche Vereinigung mehrerer Elemente heißt eine galvanische Batterie, und es ändert im Wesen des Apparats nichts, ob bei der einen oder der andern anstatt Kupfer und Zink andre Metalle, Zink und Silber, Silber und Platin u. s. w., als Elektrizitätserreger miteinander verbunden sind. Eine der mächtigsten Batterien wurde auf Befehl Napoleons I. für die Polytechnische Schule konstruiert; der Ehrgeiz der Engländer ließ es aber nicht zu, ohne einen ähnlichen Apparat zu sein. Man eröffnete eine Subskription, um das Laboratorium des berühmten Chemikers Davy mit einer großen Wollastonschen Zink-Kupfer-Batterie auszustatten. Dieselbe ist in Fig. 363 abgebildet und, wie aus der Zeichnung hervorgeht, ein Trogapparat von 200 Elementen.

Eine gleichbleibende Wirkung lassen die gewöhnlichen Batterien aber nicht erreichen; der anfangs sehr kräftige Strom nimmt infolge der an die Kupferplatten sich ansetzenden Wasserstoffbläschen rasch ab.

Die konstanten Batterien suchen diesen Übelstand zu umgehen, und zwar indem sie die chemische Zersetzung so dirigieren, daß kein schädliches Gas ausgeschieden wird, vielmehr alle Produkte in Lösung bleiben und die Flüssigkeit womöglich immer dieselbe Zusammensetzung

und Konzentration behält. Man erreicht diesen Zweck, wenn auch nie vollständig — denn das ist nicht möglich, weil für die Elektrizitätserzeugung immer etwas daran gegeben werden muß, wodurch ein chemischer Prozeß sich einleitet, infolgedessen das eine Element allmählich aufgezehrt und in die Flüssigkeit gelöst übergeht — so doch annähernd und, bei nicht zu starkem Elektrizitätskonsum, auch für eine ziemlich lange Zeit dadurch, daß man das negative Metall in eine andre Flüssigkeit tauchen läßt als das positive, beide voneinander aber durch poröse Zwischenwände absperrt, so daß die Flüssigkeiten immer miteinander in Berührung sind und die Leitung keinerlei Unterbrechung erleidet. Als positives Metall dient fast immer das Zink, welches in verdünnte Schwefelsäure eingetaucht wird, als negatives bei der Daniellschen Batterie Kupfer, in eine konzentrierte Lösung von Kupfervitriol eingetaucht, bei der Groveschen Platin in konzentrierter Salpetersäure, bei der Bunsenschen Batterie endlich feste Kohle, ebenfalls in konzentrierter Salpetersäure. Das Zink wird bei allen, um die direkte Einwirkung der Schwefelsäure abzuhalten, mit Quecksilber oberflächlich amalgamiert.

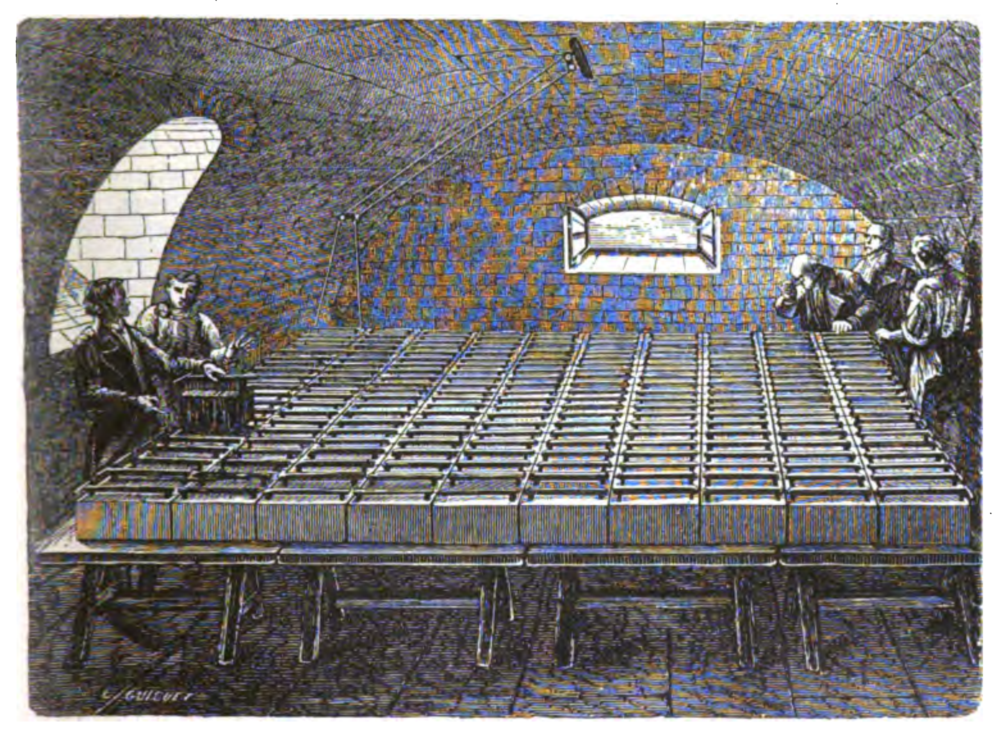


Fig. 363. Davys großer Wollastonscher Trogapparat.

Es entwickelt sich nun an dem negativen Metalle zwar bei den konstanten Batterien auch Wasserstoff, aber durch die Natur der Flüssigkeit, in welcher das stattfindet, wird dieses Gas gleich beim Entstehen chemisch gebunden, verschluckt, und kann somit seine schädliche Wirkung nicht ausüben. In einer Lösung von Kupfervitriol verbindet es sich mit dem Sauerstoff des Kupferoxyds und reduziert metallisches Kupfer, das sich auf der Platte niederschlägt, in Salpetersäure erfolgt die Verbindung mit dem Sauerstoff derselben unter Abscheidung von salpetriger Säure u. s. w.

Wir wollen als Beispiel nur die Einrichtung der Bunsenschen Batterie betrachten, welche für größere praktische Zwecke die meisten Vorzüge in sich vereinigt.

Jedes Element dieser Batterie besteht aus vier Stücken: 1) einem Gefäß A von Porzellan oder Glas (s. Fig. 364), welches zur Aufnahme der übrigen dient: 2) einem hohlen, geschlitzten Cylinder B, aus einer starken Zinkplatte gebogen, an welchen ein Kupferstreifen angelötet ist; 3) einem porösen Thoncylinder C, unten und an der Seite vollständig geschlossen, und 4) aus einem massiven Kohlencylinder D, oben mit einer Schraube versehen,

mittels derer der vom Zink kommende Kupferstreifen mit der Kohle leitend verbunden werden kann. Alle diese einzelnen Teile nehmen in der genannten Reihenfolge im Durchmesser mehr und mehr ab, weil sie, wie es die Abbildung zeigt, beim Zusammensetzen ineinander geschachtelt werden. Zuerst kommt der Zinkcylinder, in diesen wird die Thonzelle gesetzt und dahinein der Kohlencylinder gebracht. Der Zwischenraum, wo das Zink steht, wird mit verdünnter Schwefelsäure, das Innere der Thonzelle aber mit konzentrierter Salpetersäure angefüllt.

Gewöhnliche Holzkohle kann man zu den Kohlencylindern nicht verwenden, denn sie ist nicht dicht genug und leitet zu wenig. Es werden vielmehr die härtesten Koks, die sich oben an den Decken der Gasretorten ansetzen, ausgesucht, gepulvert, mit etwas Steinkohlenpulver und Sirup zu einem festen Teige angerührt; diese Masse formt man zu Cylindern und brennt sie hart, so daß sie klingend wird. Bisweilen macht man auch die Kohlencylinder hohl und füllt sie mit zerstoßenen Koks oder Sand, den man mit Salpetersäure tränkt; ja billige Batterien stellt man auf die Weise dar, daß man die Thonzelle C gleich mit Koksbrocken und Kokspulver vollstopft und mit Säure füllt.

Die Thonzelle hat, um die Berührung mit dem Zink zu vermeiden, einzelne gläserne Vorsprünge, welche in dem Grundriß Fig. 365 deutlicher hervortreten. Daselbst sieht man auch, in welcher Weise mehrere Elemente zu einer Batterie vereinigt werden. Es wird nämlich der vom Zink des ersten Elements ausgehende Kupferstreifen durch die Klemmschraube an den Kohlencylinder des zweiten Elements angedrückt, der Zinkcylinder des zweiten Elements mit der Kohle des dritten u. s. w. in leitende Verbindung gesetzt, so daß der Kohlencylinder des ersten Elements schließlich mit dem Zink des letzten verbunden werden muß, wenn die Kette geschlossen sein soll.

Für die praktische Benutzung im großen hat man aber jetzt nicht mehr nötig, galvanische Batterien solcher Art zusammenzustellen, die gewaltigen Effekte, um die es sich hier zu handeln beginnt, verlangen ganz andre Mittel, als sie mit jenen geboten werden können. Wir werden später sehen, auf welche Weise (dynamoelektrische Maschinen) man gewaltige elektrische Ströme viel zweckmäßiger erzeugen kann; hier wollen wir zunächst die verschiedenen Wirkungsweisen des Galvanismus betrachten, ohne auf die Erzeugung des Stromes vor der Hand weiter Rücksicht zu nehmen.

Ehe wir aber des Näheren darauf eingehen, wollen wir an dieser Stelle noch die Besprechung einer Einrichtung folgen lassen, welche man bei Schilderung der elektrischtechnischen Erfindung der Neuzeit häufig erwähnt findet und der man eine bedeutende Rolle für die Praxis der Zukunft aufbewahrt glaubt, wir meinen die:

Sekundärbatterien oder Akkumulatoren. Ihr Wesen wird uns klar werden, nachdem wir die Wirkungsweise des galvanischen Stromes von einem gewissen Gesichtspunkte aus ins Auge gefaßt haben.

Von der sehr verschiedenen Art der Stromwirkung, auf die wir später ausführlicher zu sprechen kommen, wollen wir jetzt nur die eine als bekannt voraussetzen, die **chemische**, kraft deren der elektrische Strom im stande ist, zusammengesetzte chemische Verbindungen in ihre Bestandteile zu zerlegen. Wenn die beiden Polplatten einer Batterie in eine Flüssigkeit, z. B. angesäuertes Wasser, tauchen, so zersetzt sich beim Durchgehen des Stromes dasselbe in seine Bestandteile Sauerstoff und Wasserstoff. Der Strom wird dabei zu größerem oder geringerem Teile aufgebraucht, und zwar entspricht der verloren gegangene Teil genau der Menge des zersetzten Wassers oder der Menge der aus demselben ausgeschiedenen Gasarten. Der Ausdruck verloren gegangener Teil ist jedoch falsch, denn nach dem Gesetz von der Erhaltung der Kraft geht nie auch nur der geringste Teil an Kraft wirklich verloren, dieselbe nimmt vielmehr in den Fällen, wo dies stattzufinden scheint, nur eine andre Form an. Und so auch hier, die beiden entwickelten Gasarten Sauerstoff und Wasserstoff haben die elektrische Kraft des Stromes in sich aufgenommen. Dieselbe gibt sich kund in der lebhaften chemischen Anziehung, welche die beiden Gase zu einander haben, und wird als Kraft wieder frei, wenn Sauerstoff und Wasserstoff sich wieder zu Wasser verbinden, verbrennen, nur daß die in unserm Falle vordem elektrische Kraft jetzt als Wärme als Verbrennungswärme auftritt. Die Wärme können wir aber in mechanische Kraftleistung verwandeln und wenn wir sie messen, so werden wir finden, daß einem gewissen Stromquantum, welches beim Durchgange durch

die Flüssigkeit zur teilweisen Zersetzung derselben verbraucht worden ist, immer auch eine gewisse mechanische Arbeit entspricht oder auch ein gewisses Maß chemischer Spannung, die in den abgeschiedenen Zersetzungsprodukten aufgespeichert worden ist.

Hat man nun in diesem Falle den elektrischen Strom in chemische Spannung umgesetzt, die chemische Spannung in Wärme, diese in mechanische Kraft, mit welcher man wieder elektrische Ströme erzeugen kann; so kann es sich fragen, ob man nicht im stande wäre, durch den elektrischen Strom eine solche chemische Spannung hervorzurufen, welche beim Ausgleich nicht Wärme entwickelt, wie die beiden Wasserbestandteile Sauerstoff und Wasserstoff, sondern welche das als chemische Spannung aufgespeicherte Kraftquantum direkt in der Gestalt von Elektrizität wieder von sich gibt.

Dies ist in der That möglich, und solche Apparate, innerhalb deren jener Vorgang sich vollziehen läßt, heißen Sekundärbatterien; sie sind in praktisch verwendbarer Form zuerst von Planté hergestellt worden. In ihnen wird Elektrizität in chemische Spannung umgesetzt, dadurch wird die Sekundärbatterie geladen: sie wird entladen, wenn die chemische Spannung sich wieder in elektrischen Strom verwandelt, damit kehrt die Batterie dann in dem ursprünglichen Zustand wieder zurück. Weil sich also in solchen Sekundärbatterien gewissermaßen Elektrizität ansammeln läßt, haben dieselben auch den jetzt allgemeinen Namen Akkumulatoren erhalten.

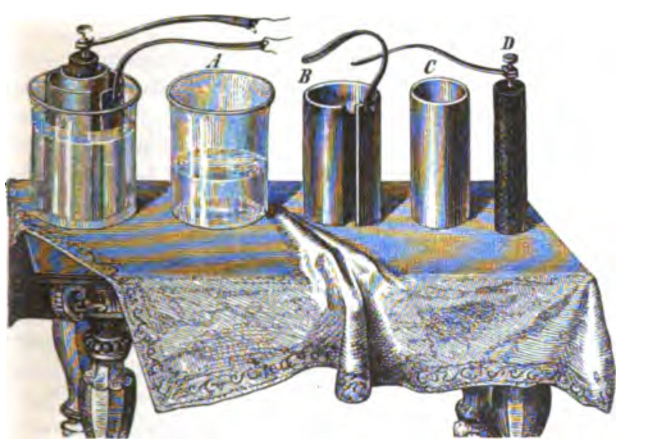
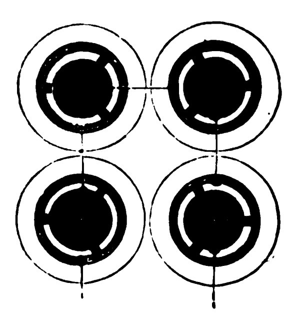



Fig. 864. Das Bunsensche Element.


Fig. 865. Die Bunsensche Batterie.

Die Einrichtung derselben gründet sich der Hauptsache nach auf die Fähigkeit des Bleies, unter Umständen beim Einschalten in den elektrischen Strom den aus der Zersetzung von Wasser frei werdenden Sauerstoff in großer Menge aufzunehmen und damit Bleisuperoxyd zu bilden. Dieses Bleisuperoxyd verhält sich dem metallischen Blei gegenüber elektronegativ, und beide zusammen sind also geeignet, miteinander und mit einem feuchten Leiter (verdünnter Schwefelsäure) ein galvanisches Element zu bilden, in welchem das Bleisuperoxyd den negativen, die metallische Bleiplatte den positiven Pol darstellt. Aus solchen Elementen besteht die Sekundärbatterie, deren übliche Einrichtung sich ihrem Wesen nach immer noch auf die von Planté ihr gegebene Form gründet.

Zwei dünne Bleiplatten (ca. 1 mm stark) werden, durch ca. 6 mm dicke Gummistreifen voneinander getrennt, so zusammengerollt, daß das Ganze einen Cylinder bildet, der in ein mit verdünnter Schwefelsäure angefülltes Gefäß gestellt werden kann. Jede der Bleiplatten ist mit einem Ableitungsstreifen versehen, welche beide durch den Deckel des Gefäßes hindurchragen und mit einem der Poldrähte der Ladungsbatterie in leitende Verbindung gebracht werden können.

Leitet man nun mittels dieser Streifen einen elektrischen Strom durch die Bleiplatten, so muß derselbe, um von einer zur andern zu gelangen, seinen Weg durch die Flüssigkeit nehmen, dabei zersetzt er das Wasser derselben, und der infolgedessen sich entwickelnde Sauerstoff oxydiert die positive Polplatte, welche sich dadurch oberflächlich mit einer Schicht von

Bleisuperoxyd überzieht, während der Wasserstoff an der negativen Polplatte abgeschieden wird. Auf diese Weise wird ein elektrisches Element gebildet, welches aus Bleisuperoxyd, metallischem Blei und verdünnter Schwefelsäure besteht und das man sofort in Wirksamkeit setzen kann, wenn man die Ladungsbatterie ausschaltet und die beiden Polenden der Sekundärbatterie (die Ableitungsstreifen) durch einen Leitungsdraht miteinander verbindet. Der Strom hat in demselben die entgegengesetzte Richtung wie der aus der Ladungsbatterie hineingeleitete, d. h. er geht bei der Entladung so, daß an der Bleisuperoxydplatte, der negativen Polplatte, der Wasserstoff ausgeschieden wird. Dieser Wasserstoff aber verbindet sich mit dem Sauerstoff des Bleisuperoxyds und reduziert letzteres zu metallischem Blei, wodurch die negative Polplatte wieder in den rein metallischen Zustand zurückgeführt wird. Das Sekundärelement wird um so mehr Elektrizität entwickeln, je größer die Menge des Bleisuperoxyds war, oder je mehr Elektrizität zu seiner Ladung aufgewendet worden ist. Sobald alles Bleisuperoxyd zu metallischem Blei reduziert ist, hört der Strom auf, denn dann ist Blei mit Blei verbunden, eine elektrische Polarität also nicht mehr vorhanden.

Auf die verschiedenen Abänderungen, welche die Sekundärbatterie erfahren hat, brauchen wir hier nicht einzugehen; sie beziehen sich zumeist nur auf die Form der Bleiplatten, die man bald aus gewelltem, bald aus durchlöchertem Blech u. s. w. dargestellt hat. Die Versuche statt des Bleies andre Metalle (z. B. Silber wie es d'Arsonval vorgeschlagen hat) anzuwenden, haben noch keine namhaften Vorteile ergeben, es scheint aber hier noch ein fruchtbares Feld für weitere Versuche vorzuliegen.

Was man hauptsächlich mit den Akkumulatoren erstrebt, ist, einen elektrischen Strom, der momentan oder an der Stelle seiner Erzeugung nicht zu verwerten ist, für die Zukunft aufzuheben oder an einem entfernteren Orte zu verwenden; und da man, wie wir schon gesehen haben, mechanische Arbeitskraft in elektrischen Strom und umgekehrt Elektrizität in mechanische Arbeit umwandeln kann, so kann man mittels der Sekundärbatterie auch mechanische Arbeitskraft aufbewahren und sie späterhin entweder als Elektrizität oder aber auch wieder als mechanische Kraft aus der Sekundärbatterie herausziehen. Für die Ausnutzung von Kraftquellen, die unausgesetzt fließen wie Wasserfälle, oder deren Kraft nur periodenweise gebraucht wird, wie es im Maschinenbetriebe vielfach vorkommt, jedenfalls ein wichtiges Moment, da man die aus ihnen aufgenommene überschüssige Kraft nicht nur mittels der geladenen Akkumulatoren an jeden andern Ort hintransportieren, sondern auch zu beliebiger Zeit wieder entfesseln kann — wie das so scheint. Denn leider scheint es auch nur so, in Wirklichkeit verhält sich nämlich die Sache vor der Hand noch etwas anders als die eben entwickelte Theorie darstellt.

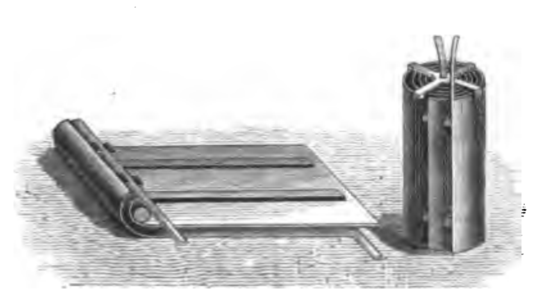


Fig. 366. Akkumulator.

Die Sekundärbatterien, wie sie jetzt beschaffen sind, leiden nämlich an dem großen Übelstande, daß sie ihre Ladung nicht ungeschwächt zu halten vermögen; sie verlieren nach und nach ihre Energie und solche Verluste, die sich auch in andrer Weise noch wiederholen, schmälern den Nutzen ganz wesentlich. Dann aber ist ihr beträchtliches Gewicht ein Übelstand, der der Übertragbarkeit großer Kraftmengen sehr hinderlich im Wege steht. Wie weit beides noch zu gunsten sich wird ändern lassen, ist zur Zeit noch nicht abzusehen. Für vereinzelte spezielle Zwecke, z. B. elektrische Beleuchtung, können jedoch die Akkumulatoren auch jetzt schon bei günstiger Vorbedingung eine praktische Verwendung finden.

Die **Wirkungen des galvanischen Stromes** sind, wenn auch nicht qualitativ, so doch quantitativ, in vielen Punkten von denen des gewöhnlichen elektrischen Funkens sehr verschieden. Was die physikalischen Phänomene anlangen, so stehen Licht- und Wärmeeffekte in erster Reihe, während die Anziehung bei der verhältnismäßig geringen Spannung der Elektrizität in der galvanischen Batterie nur wenig Bemerkenswertes zeigt.

In den Schaufenstern der Mechaniker sieht man bisweilen ein sogenanntes elektrisches Perpetuum mobile aufgestellt. Dasselbe gründet sein lange andauerndes Spiel auf die Anziehung, die von den Polen zweier Zambonischer Säulen auf ein um seinen Schwerpunkt schwingendes Pendel ausgeübt wird und dasselbe in Bewegung erhält. Die Zambonischen Säulen sind nämlich so nebeneinander aufgestellt, daß bei der einen der positive, bei der andern der negative Pol sich oben befindet. Das Pendel ist mitten inne zwischen beiden aufgehängt und trifft mit seiner Endkugel beim Ausschlagen gerade die Pole der Säule. Hier ladet es sich bei jeder Berührung mit Elektrizität, wird von dem gleichnamigen Pole dann abgestoßen, von dem andern aber um so kräftiger angezogen, bis es, mit der entgegengesetzten Elektrizität gesättigt, auch hier wieder abgestoßen wird und so abwechselnd immer hin und her schwankt.

Andre Arrangements dieser Bewegungserscheinung sind leicht zu treffen, und unsre Abbildung in Fig. 367 zeigt uns das Pendel mit einem Drahte verbunden, dessen Bewegung den kleinen Seiltänzer auf dem Seile hin und her schwanken läßt.

Fortbewegung und Widerstandsverhältnisse des galvanischen Stromes sind entsprechend wie beim elektrischen Funken. Je dicker der Draht, desto besser die Leitung; schwache Drähte können durch das Passieren starker Ströme bedeutend erhitzt, glühend gemacht und ebenso geschmolzen werden, wie durch den Funken der elektrischen Batterie. Bei Sprengarbeiten bedient man sich daher, weil man das Experiment hier besser kontrollieren kann, zur Entzündung der Ladungen gewöhnlich einer galvanischen Batterie, deren Verbindungsdraht man durch alle Sprenglöcher hindurchleitet. Wo der Draht durch den Sprengsatz geht, besteht er aus einem dünneren Stück, welches durch den Strom ins Glühen gebracht wird. Da die Erhitzung aber durch die ganze Länge des Drahtes auf einmal erfolgt, so findet auch die Explosion aller Löcher in demselben Moment statt.

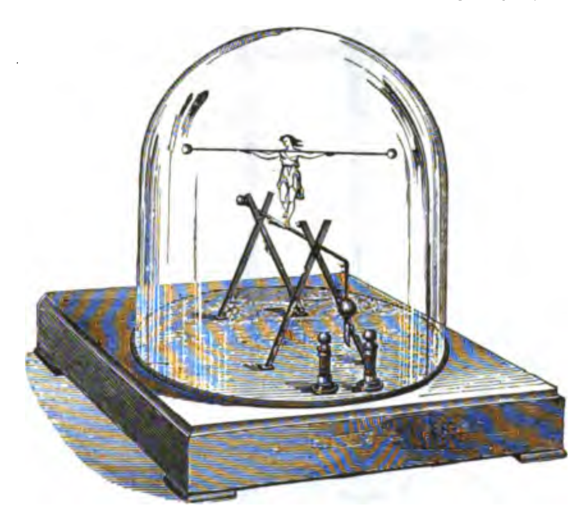


Fig. 367. Perpetuum mobile mit Zambonischer Säule.

In der Chirurgie benutzt man die Erhitzung schwacher Platindrähte durch den galvanischen Strom, um Fleischpartien abzubrennen. Der Draht wird um den zu operierenden Teil gelegt, während noch kein Strom hindurchgeht, und in die richtige Lage gebracht. Darauf schließt man die Kette und schnürt entweder die Drahtschlinge zu oder schneidet mit dem glühenden Faden, wie der Seifensieder mit dem Draht Seife schneidet.

Um die beiden Pole einer Batterie miteinander leitend zu verbinden, ebenso rasch aber auch die Wirkung wieder aufhören zu lassen, hat man sogenannte Unterbrecher konstruiert, welche auf bequeme Weise diese Absicht erreichen lassen. Die einfachsten Apparate dieser Art sind diejenigen, wo die beiden Pole in Quecksilbernäpfchen geleitet sind, welche durch einen in beide Näpfchen tauchenden Metallbügel verbunden werden können, der augenblicklich herauszuheben und wieder einzusetzen ist.

Das elektrische Licht. Während der elektrische Funke eine einmalige Lichtexplosion oder, bei der Leidener Flasche, ein rasch abnehmendes oszillatorisches Aufleuchten ist, charakterisiert sich die Lichterscheinung des galvanischen Stromes durch ihre stetige Ausstrahlung und läßt sich dadurch zu einer praktischen Verwendung geneigt finden. Um ein lebhaftes Licht hervorzurufen, muß man aber schon eine ziemlich starke Säule anwenden und wenigstens anfänglich die von den Polen ausgehenden Drähte einander sehr nahe bringen, denn erst wenn von einem Pole zum andern durch den überspringenden Funken eine leitende Brücke gebaut

ist, geht dann die Überstrahlung leichter von statten, auch wenn die Entfernung der beiden Polenden voneinander vergrößert wird. Es kommt dabei auch noch sehr auf die Substanz der Polenden an, zwischen denen der Strom übergehen soll.

Sir Humphrey Davy hat mit seiner Säule aus 200 kräftigen Zink- und Kupferplattenpaaren die ersten namhaften Lichteffekte dadurch erzielt, daß er die Pole derselben in zwei Kohlenenden auslaufen ließ. Näherte er dieselben einander, so ging der Strom über, und der Lichtschein nahm, wenn die Kohlenenden dann langsam voneinander entfernt wurden, die Gestalt eines nach auswärts gekrümmten Bogens an, der erst bei einer Entfernung von $47\frac{1}{2}$ cm erlosch. In Fig. 368 geben wir die Abbildung einer Vorrichtung, wie sie zur Hervorrufung des elektrischen Bogenlichtes dienen kann. Die Kohlestäbchen a b stehen durch die leitenden Hülsen A und B mit den Poldrähten der Batterie — Z und K + in Verbindung; sobald die Kette geschlossen wird, geht das Licht zwischen den Spitzen a und b über, die anfänglich einander sehr nahe gebracht und erst nach Entstehung des Lichtbogens voneinander entfernt werden. Die Farbe des Lichtes ist blendend weiß mit einem bläulichen Saume.

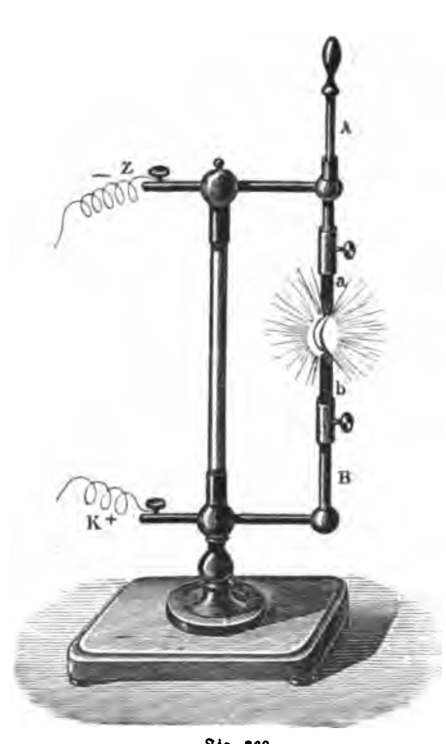


Fig. 368.
Vorrichtung zur Erzeugung des elektrischen Lichtbogens.

Es hat auch späterhin die Kohle sich als das geeignetste Material zu Polenden für die Erzeugung des elektrischen Lichtes bewährt, und man bedient sich derselben in verbesserter Gestalt heute noch., um dieses sogenannte „Bogenlicht“ hervorzubringen. Dasselbe unterscheidet sich von dem „Glühlicht“, welches viel später erst in Anwendung gebracht worden ist, dadurch, daß jenes in freier Luft durch Übergang der Elektrizität von einem Pole zum andern durch einen mit Luft erfüllten Zwischenraum entsteht, während bei dem Glühlicht die beiden Polenden durch einen besonders präparierten feinen Kohlefaden leitend miteinander verbunden sind, der durch den elektrischen Strom ins Glühen gebracht wird und solchergestalt dann Licht ausstrahlt. Damit dieser feine Kohlefaden nicht verbrennt, ist er mit dem oberen Ende der Poldrähte in ein luftleer gemachtes Glasgefäß eingeschlossen.

Das elektrische Bogenlicht ist sehr reich an chemisch wirkenden Strahlen. Durch Vergleichung hat man gefunden, daß 48 gewöhnliche Kohlenzinkelemente eine Leuchtkraft entwickeln wie 572 Wachskerzen. Diese große Helligkeit ließ bald die Idee einer praktischen Verwendung auftauchen.

Die Geschichte des elektrischen Lichtes hat merkwürdige Phasen durchgemacht; zuerst mit Begeisterung aufgenommen, wurde die neue Beleuchtungsart durch die mannigfachen Übelstände, die ihr anhafteten und die man lange nicht zu beseitigen vermochte, bald wieder in Mißkredit gebracht, bis die allerjüngste Zeit auf diesem Felde ganz ungeahnte Entdeckungen machte und nun ein wirklich brauchbares Fundament für die weitere Ausbildung der elektrischen Beleuchtung herstellte.

Schon zu Anfang der vierziger Jahre wurden in Paris von Deleuil Versuche gemacht, das elektrische Licht zur Straßenbeleuchtung zu gebrauchen. Er beleuchtete mittels 98 Zinkkohlenelementen den Pavillon eines Hauses am Pontneuf. Das Experiment machte ungeheures Aufsehen. Man wollte eine „Erleuchtungskompanie“ gründen, und die Archereauschen Beleuchtungen des Konkordienplatzes 1844 belebten die Sympathien der Pariser aufs neue.

In Petersburg wurden ebenfalls Versuche von Jakobi und Archereau 1849 mit einer Batterie von 185 Zinkkohlenelementen, jedes von 1200 qcm Oberfläche, angestellt. Die Batterie stand parterre, Leitungsdrähte führten zum Lichtapparat, der auf der Höhe des Admiralitätsturmes stand und von hier aus am 8. Dezember in einer Nacht von wunderbarer Klarheit die in schnurgerader Richtung auf den Turm zulaufenden drei Hauptstraßen, Newsky-Prospekt, Erbsenstraße und Wosnesensky-Prospekt, so hell beleuchtet, daß in einer Entfernung von 100 Schritt die Helligkeit 25mal, bei 3—400 Schritt jedoch nur noch doppelt so groß war, wie bei gewöhnlichem Gaslicht. Diese blendende Helligkeit in unmittelbarer Nähe des Leuchtapparates, die nach dem für jede Art Lichtstrahlen geltenden Gesetze sehr rasch mit der wachsenden Entfernung sich verminderte, war aber durchaus nicht vorteilhaft. Ebenso grell wie die beleuchteten Punkte hervortraten, ebenso tief und undurchdringlich waren die unmittelbar daran grenzenden Schatten. Dies zu vermeiden war aber nicht möglich; man vermochte den elektrischen Strom nicht zu teilen und hätte für jede Laterne eine besondere Batterie aufstellen müssen, wenn man jenen Übelstand der grellen Kontraste durch eine größere Anzahl verteilter Lichtpunkte von schwächerer Leuchtkraft hätte beseitigen wollen. Damit aber wären die Kosten enorme geworden, abgesehen davon, daß ja gerade in der außerordentlichen Leuchtfähigkeit das Bestechliche des elektrischen Lichtes von Anfang an gefunden wurde. Infolge dieser Erfahrungen und des Umstandes, daß in derselben Zeit gerade die Gasbeleuchtung ihre Ausbildung erfahren hatte, verlor die mit großen Hoffnungen begrüßte Beleuchtungsart das allgemeine Interesse wieder und man hielt lange Zeit recht wenig von ihr.

Trotzdem aber, daß die Aussichten des elektrischen Lichtes für Straßenbeleuchtung sehr geschwunden waren und daß auch durch den Versuch, welcher 1852 gemacht wurde, die Deputiertenkammer in Brüssel elektrisch zu beleuchten, ein Nutzen für Beleuchtung geschlossener Räume sich nicht herausstellte, so fand sich doch eine Zahl spezieller Zwecke, für welche das elektrische Licht dann und wann wieder hervorgesucht wurde.

Die glänzendsten Stadtteile in Paris wurden von Napoleon III. aus den Trümmern niedergerissener alter Baracken mit Zauberschnelle hervorgerufen. Ohne Unterbrechung währte die Thätigkeit. Der Tag hatte 24 Arbeitsstunden, in der einen Hälfte schien die Sonne, in der andern das elektrische Licht. Die Westminsterbrücke in London, die Rheinbrücke bei Kehl, der Industrieplatz von 1862 und andre große Gebäude wurden zum Teil bei elektrischem Licht gebaut, und die Riesenarbeiten in Paris für die Ausstellung von 1867 geschahen ebenfalls mit seiner Hilfe. Man wendete dasselbe auf Leuchttürmen zum Signalisieren an, wie auf dem Leuchtturm zu South-Foreland unweit Dover, und da es, um fortzuleuchten, nicht an das Vorhandensein von Sauerstoff gebunden ist, so erscheint es als ein ausgezeichnetes Mittel, um unter Wasser dem Taucher den Meeresboden zu beleuchten, oder Fische anzulocken. Man kann es sehr gut benutzen, um den menschlichen Körper behufs Operationen, z. B. in der Rachenhöhle u. dergl., von innen zu erhellen, und außerdem behält das elektrische Licht seinen unstreitbaren Wirkungskreis auf dem Theater, wo ihm Meyerbeer eine ganz besondere Aufnahme bereitet hatte.

Alle diese elektrischen Beleuchtungen wurden mit Bogenlicht ausgeführt und der dazu erforderliche elektrische Strom durch eine der vorbeschriebenen Batterien erzeugt. Der letztere Umstand machte die Sache äußerst kostspielig, der erstgenannte insofern überhaupt schwierig, als es noch nicht gelungen war, mit einem Strome mehrere Lichtquellen zu besetzen. Denn so einfach die Erzeugung des elektrischen Bogenlichtes auf den ersten Anschein aussieht, so sind doch damit Schwierigkeiten verknüpft, welche gründlich zu heben auch jetzt noch nicht vollständig erreicht ist. Das schönste Licht erhält man, wenn man, wie schon erwähnt, die Enden der Poldrähte in Stäbe von harter Kohle, solcher, wie sie zu den Bunsenschen Kohlencylindern genommen wird, ausgehen läßt. Die Herstellung solcher Kohle, welche durchweg von großer Gleichmäßigkeit sein muß, ist nicht ganz leicht; dann aber verbrennen die Enden infolge der großen Wärmeentbindung, welche gleichzeitig mit stattfindet, nach und nach, wodurch sich der Zwischenraum mehr und mehr vergrößert, bis endlich die Entfernung zu groß und der Strom unterbrochen wird, in diesem Moment verlöscht das Licht natürlich.

Regulatoren. Um dem zu begegnen, ist eine Anzahl von Apparaten erfunden worden, welche als Regulatoren wirken und die Kohlenspitzen in gleicher Entfernung halten; ja, wenn

infolge des schwächeren Stromes der Lichtbogen an Intensität abnimmt, sie einander nähern und die ursprüngliche Leuchtkraft wieder hervorrufen. Solche Apparate wurden von Archereau, Duboscq, Foucault, Serrin, Suisse, Hefner-Alteneck (Simens-Halske-Lampe), Crompton, Jaspar, Dornfeld (Krupp-Lampe), Bürgin u. a. konstruiert.

Wir geben in Fig. 369 die Abbildung des Regulators von Foucault und Duboscq, des ersten, welcher eine praktische Verwendung finden konnte. Bei der Beschreibung desselben müssen wir aber unsrer Darstellung etwas vorausgreifen, indem wir die Kenntnis der elektromagnetischen Erscheinungen voraussetzen, deren Besprechung uns erst im nächsten Abschnitt beschäftigen wird. Ein Elektromagnet spielt hier die Hauptrolle, in der Abbildung durch e bezeichnet, über ihm befindet sich der Anker f, welcher durch die Feder r vom Magneten e abgezogen wird, wenn letzteren kein Strom umläuft. Die beiden Kohlehalter werden durch zwei Räderwerke einander zu- oder voneinander wegbewegt. Der elektrische Strom tritt nun durch c zunächst in die Windungen des Elektromagneten e, aus diesen in das metallische Gehäuse bb, welches das Räderwerk umschließt, und endlich in die Zahnstange d, welche die +Kohle trägt. Die —Kohle steht mit dem —Pole der Batterie in leitender Verbindung und muß zu diesem Zwecke ihr Träger h auf dem Gehäuse b isoliert befestigt sein. Der Anker f trägt eine Arretierungs- und Auslösungsstange t; wie schon erwähnt, wird er von der Feder r bei Stromunterbrechung in Bewegung gesetzt, die aber, infolge einer eigentümlichen Abhängigkeit von dem um x drehbaren Metallstücke, nicht plötzlich geschieht, sondern nur allmählich, so daß die hierdurch bedingten Änderungen im Lichtbogen auch nur langsam zu- und abnehmend eintreten. Die Arretierungsstange t endigt oben in ein Plättchen T, welches in die sternförmigen Windfänge O und O' eingreift, je nachdem die Stange t nach links oder nach rechts hinüberspringt; O und O' gehören zwei verschiedenen Räderwerken co und c'o' an. C' ist das Federhaus des einen, C das des andern Räderwerkes, mit welchem die Kohlehalter durch zwei bei C' fest auf einer Achse sitzende Räder mittels Zahnstange in Verbindung stehen. Wenn sich dieses Räderpaar nach der einen Richtung dreht, so entfernen sich die Kohlehalter voneinander, während sie sich bei einer Bewegung nach entgegengesetzter Richtung einander nähern.

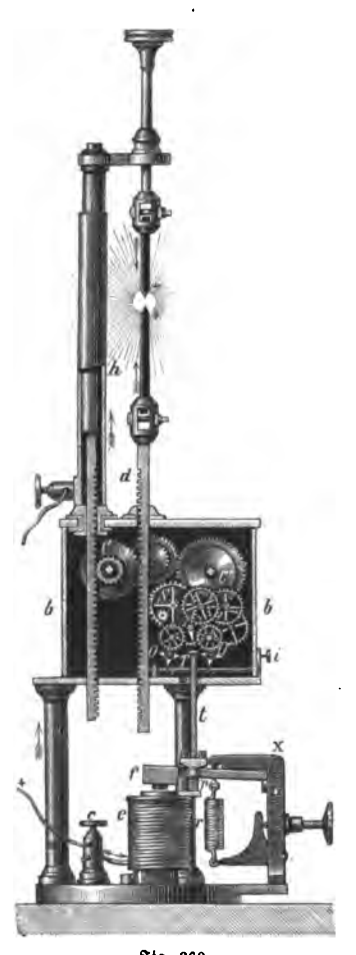


Fig. 369.
Regulator von Foucault und Duboscq.

Das Spiel des Apparates ist nun folgendes: Ist der Strom schwächer geworden, etwa durch zu weites Abbrennen der beiden Kohlenenden, so verliert der Elektromagnet e seine Kraft, mit welcher er den Anker festhielt, die Feder r reißt letzteren ab, jedoch nur allmählich, dadurch springt die Arretierungsstange t nach rechts, ihr Plättchen T gibt das Windrad O frei, arretiert dagegen das Windrad O'. Das Räderwerk C kommt in Bewegung, und die Kohlenspitzen werden einander genähert, der Widerstand im Stromkreise wird geringer, der Strom stärker, der Anker vom Elektromagneten wieder angezogen und der Arretierungsstab t geht, dem Anker folgend, nach links. Sobald aber die Stromstärke ein gewisses Maß überschritten hat, die Kohlenspitzen einander zu nahe gekommen sind, arretiert Stab t das Windrad O und gibt O' frei, das diesem entsprechende Räderwerk wird in Bewegung gesetzt und die Kohlenspitzen werden voneinander entfernt. Sind Anziehungskraft des Magneten und Zugkraft der Feder im Gleichgewicht, was durch Einwirkung der Schraube auf die Feder r leicht bewerkstelligt werden kann, so wird das Stäbchen t eine vertikale

Lage annehmen und beide Windflügel O und O' arretieren. In diesem Falle entspricht dann die Länge des Lichtbogens der Stromstärke.

Um dem Verlöschen des Lichtes zu begegnen, welches durch unreine Stellen der Kohle oder dergl. herbeigeführt werden kann, hat man mit solchen Regulatoren besondere Nebenlampen verbunden, durch die der Strom seinen Weg nehmen muß, wenn er in dem Regulator unterbrochen ist; diese treten dann in Wirksamkeit und leuchten, wenn jener aussetzt. Wie glücklich aber auch die Aufgabe der Regulierung des Abstandes der Kohlenspitzen gelöst sein mochte, es lag in der Natur der Sache, daß sich in dem Stromkreis ohne weiteres nur eine solche elektrische Lampe einschalten ließ. Mit dieser konnte man die größtmögliche Helligkeit zwar erzielen, allein für viele Zwecke und gerade für die Bedürfnisse des gewöhnlichen Lebens war, wie schon hervorgehoben, das intensive Licht, welches ebenso tiefe Schatten hervorrief, eher ein Nachteil als ein Vorzug, und es mußte daher nach Auswegen gesucht werden, um jene Übelstände zu umgehen.

Die Stromverzweigung. Das Problem der Stromverzweigung trat in den Vordergrund und es erlangte eine große Wichtigkeit, als man von andrer Seite dahin gekommen war, zur Erzeugung von elektrischen Strömen nicht mehr der kostspieligen Batterien zu bedürfen, sondern mittels mechanischer Kraft, durch Dampfmaschinen oder Wasserräder auf viel billigere Weise Elektrizität hervorzurufen.

Durch die dynamoelektrische Maschine, auf die wir ausführlicher im nächsten Kapitel zu sprechen kommen, wurde auf einmal Elektrizität in jeder beliebigen Menge zur Verfügung gestellt, infolgedessen wurde ihre Verwendung zur Beleuchtung aufs neue und mit gesteigerter Lebhaftigkeit gefordert.

Ehe es aber gelang, die Stromverzweigung zu genügender Vollkommenheit zu bringen, trat der russische Ingenieuroffizier Jablochkoff mit einer Erfindung hervor, welche auf eine sinnreiche Art die früher bezweifelte Möglichkeit gewährte, mehrere Lichtbogen in denselben Stromkreis ohne Stromteilung hintereinander einzuschalten, und die demzufolge auch von den Elektrotechnikern mit großer Lebhaftigkeit begrüßt wurde. Es waren dies die nach ihm benannten Jablochkoffschen Kerzen.



Fig. 370. Die Jablochkoffkerze.

Dieselben bedürfen keiner besonderen Reguliervorrichtung, da bei ihnen die Entfernung der beiden Kohlenenden immer dieselbe bleiben muß. Es stehen nämlich die letzteren nicht in einer Linie hintereinander, sondern parallel nebeneinander nur durch ein Zwischenmittel voneinander getrennt, welches die Isolierung bewirkt, welches aber durch die Hitzeentwickelung des Lichtbogens verflüchtigt wird, so daß der elektrische Strom immer zwei freiliegende Kohlenenden zum Überströmen vorfindet. Behufs der Entzündung werden die Kohlenspitzen anfänglich durch ein leitendes Graphitblättchen, das mittels eines Papierstreifens über ihnen festgehalten wird, in Verbindung gebracht.

Als isolierende Zwischenschicht wird gewöhnlich Gips verwandt, dessen Dämpfe, wenn der Strom zirkuliert, die Leuchtkraft des Bogens noch wesentlich erhöhen. In Fig. 370 ist eine solche Jablochkoffsche Kerze abgebildet. Nachahmungen wurden bald versucht, so die Wilde-, Jamin-, Debrunkerze, ohne das Original an Brauchbarkeit zu übertreffen. Mit den Jablochkoffschen Kerzen mochte sich die ihren Zielen rasch zustrebende Elektrotechnik jedoch auch noch nicht ein für allemal abfinden lassen. Die Kohlen brannten zu rasch ab, und da das positive Ende viel rascher verzehrt wird als das negative, so erwuchs hieraus schon ein Übelstand, den man nur durch Anwendung von Maschinen, welche Ströme von wechselnder

Richtung liefern, beseitigen konnte. Dann aber fiel auch der Umstand ins Gewicht, daß mit dem Verlöschen einer Kerze alle in demselben Stromkreise befindlichen Kerzen mit verlöschen und die Wiederentzündung derselben trotz aller Einrichtungen, die man dazu erfand, nicht mit voller Sicherheit gelingen wollte.

Erfindungen, wie die sogenannte Soleillampe von Clerc, bei welcher die Kohlenstäbchen in geneigter Stellung in massiven Hülsen durch ihre eigne Schwere soweit nachgleiten als unten abbrennt, die Länge des Bogens also, durch das offene Ende der Hülsen bedingt, auch immer dieselbe bleiben muß, und bei welcher sodann noch die Hitze des elektrischen Lichtbogens ein Stück Marmor zum hellen Weißglühen bringt, werden auch kaum das Kerzensystem halten können, obwohl in dem genannten Falle die Wiederentzündung durch den glühenden und gut leitenden Kalk leichter von statten geht, als bei den Jablochkoffkerzen. Denn inzwischen hat die Stromverzweigung eine solche Vervollkommnung erfahren, daß an dem endlichen Sieg der Teillampen kaum mehr gezweifelt werden kann.

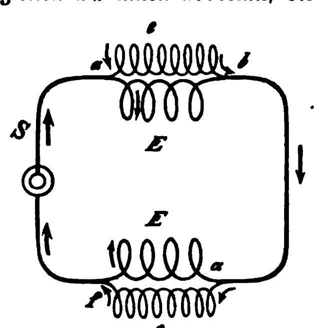


Fig. 371. Schema der Stromverzweigung.

Wir müssen mit einigen Worten auf das Prinzip der Stromteilung eingehen. Läßt man durch einen geschlossenen Draht, der sich an einer Stelle a (Fig. 371) in zwei Drähte E und e von verschiedener Dicke und Länge spaltet, den Strom hindurchgehen, so teilen sich die beiden Stücke e und E in verschiedener Weise in die hindurchpassierende Elektrizitätsmenge, und zwar verhalten sich die Stromstärken in E und e umgekehrt wie die Widerstände, welche die Drahtleitungen e und E dem Stromdurchgange der Elektrizität entgegensetzen. Diese Widerstände nehmen ab mit der Dicke und wachsen mit der Länge der zwischengeschalteten Stücke. Bei b vereinigen sich die Stromzweige wieder, und wir können annehmen, daß in dem wieder erreichten Hauptdraht der Strom seine ursprüngliche Stärke wieder hat. Eine solche Teilung kann wiederholt vorgenommen werden, ehe der Strom in die Batterie zurückkommt. Das ist eine längst erkannte Thatsache. Das Wesentliche der für die elektrische Beleuchtung wichtigen Vervollkommnung der Apparate besteht aber darin, daß man den Regulierungsapparat jetzt nicht mehr von demjenigen Stromzweige, E z. B., in Bewegung setzen läßt, der durch die Kohlenspitzen hindurchgeht, sondern von dem andern, der durch e passiert. In E mag nun durch unregelmäßiges Abbrennen, Unreinigkeit der Kohle u. s. w. eine Schwankung eintreten, was für eine immer will, durch dieselbe wird nur der Stromanteil in e beeinflußt, aber es kann eine Unterbrechung nicht stattfinden, je weniger umgekehrt durch E hindurchfließt, um so mehr befördert dann e, bei b tritt allemal die Gesamtstromstärke wieder in den Hauptdraht. Vergrößert sich also in E der Widerstand, so muß e mehr Elektrizität befördern, verringert er sich dort wieder, so kommt auf e eine entsprechend geringere Stromstärke. Die nächste Abzweigung merkt hiervon gar nichts. Für die Praxis hat nun diese Stromverzweigung innerhalb des Lampenkreises, sobald einmal der Weg gezeigt war, die Konstruktion einer großen Anzahl verschiedener Einrichtungen hervorgerufen.

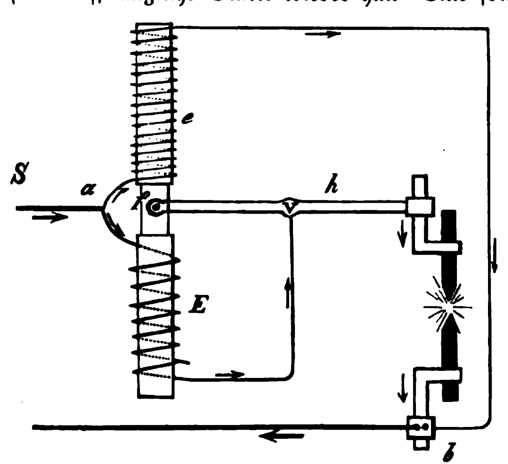


Fig. 372. Schema des Siemensschen Differentialregulators.

Die erste Teillichtmaschine erfand Tschikoleff, aber erst Siemens gelang es, die Aufgabe auch in praktisch verwendbarer Form zu lösen. Neben ihm aber haben Lontin, Crompton, Bürgin, Fontaine, Gramme, Weston, Brush u. a. Apparate angegeben, die denselben Zweck mit mehr oder weniger Glück anstrebten. Die jetzt von allen wohl am meisten verbreitete

Siemens-Halske-Lampe beruht auf einem Prinzip, welches von Hefner-Alteneck erfunden worden ist. Fig. 372 gibt eine schematische Darstellung davon.

Man erkennt darin wieder die ungleich starken und verschieden langen Drahtverzweigungen E und e, von denen die erste, wie es der kräftigere Pfeil andeutet, den Hauptteil des Stromes durch die Kohlenspitzen nach der Batterie zurückführt. Der abgezweigte Teil geht durch e und vereinigt sich hinter der Lampe bei b mit jenem.

Der Regulator besteht in einem Stabe von weichem Eisen, welcher durch die ihn umschließenden Stromverbindungen e und E in einen Elektromagneten verwandelt wird, und dadurch, je nachdem die obere Spule e oder die untere E in ihrer Stromstärke zunimmt, entsprechend auch nach oben oder nach unten gezogen wird. Dabei bewegt er den Hebel h, welcher die eine Kohlenfassung trägt, es entsteht eine Näherung oder eine Entfernung der Kohlenenden, durch welche der normale Zustand des Lichtbogens wieder herbeigeführt wird. Das ist die sogenannte Differentiallampe, deren Ausführung in der Praxis natürlich nicht so einfach sein kann, wie es hier aussieht. Fig. 373 stellt den Durchschnitt einer solchen für den Betrieb konstruierten Differentiallampe dar. G und H sind die Kohlenenden der Poldrähte; das oberste derselben hängt mittels der Zahnstange Z an dem Hebel CC', welcher mit dem Magnete SS in Verbindung steht; tt und rr sind die beiden Magnetisierungsspiralen entsprechend E und e in Fig. 372. Die übrigen Bestandteile dienen zur Geradführung, zur Arretierung u. s. w., durch ii gehen die Poldrähte in den Apparat; der Lauf des Stromes innerhalb des letzteren ist durch die —.—.—. Linie angedeutet. Sonst sind unter andern Ausführungen, welche das Prinzip des oszillierenden Magnets erfahren hat, die Lampen von Gülcher, Schuckert, Zipernowsky u. a. zu nennen; die Erfahrung scheint jedoch der Simenslampe den Vorzug zu geben.

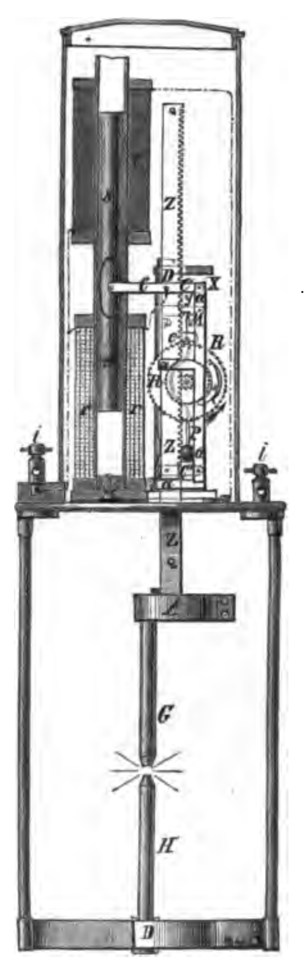


Fig. 373. Siemens-Halske-Differentialregulator im Durchschnitt.

Es kann hier natürlich nicht der Ort sein, alle elektrischen Lampen zu besprechen, welche patentiert worden sind, wir müssen uns begnügen, auf diejenigen Systeme hinzuweisen, denen ein wirklicher Erfolg schon zur Seite steht, ausgeschlossen ist dabei keineswegs, daß die Zukunft Lösungen ganz andrer Art noch bringt, wodurch das zur Zeit Vollkommenste wieder in den Schatten gestellt werden kann.

Gegenwärtig sind mit Siemens-Halske-Differentiallampen bereits eine große Anzahl von Etablissements versehen, namentlich Bahnhofsanlagen beleuchtet, so der Anhalter Bahnhof in Berlin mit 20 großen Differentialregulatoren, der Ostbahnhof, die Stadtbahn, die Bahnhöfe in Düsseldorf, Elberfeld, Wien, Hannover, München, ferner das Reichstagsgebäude, die Leipziger Straße bis zur Wilhelmstraße, wo 36 Differentiallampen mit einer Leuchtkraft von 900 Gasflammen eine Strecke erhellen, welche früher von 65 Gasflammen ihr Licht erhielt. Diese Siemensschen Lampen haben aber auch anderwärts bereits vielfach Eingang gefunden, so in London und Paris, obwohl in letzterer Stadt die Jablochkoffkerzen (Beleuchtung der Avenue de l'Opera) ihre ersten großen Triumphe gefeiert hatten, und für die Erzeugung sehr leuchtkräftiger Bogen dürften in ihnen zur Zeit wohl auch die zweckmäßigsten Apparate vorliegen.

Das Glühlicht. Eine andre Frage ist es, ob das blendend weiße Licht des elektrischen Bogens ausschließlich zur Herrschaft gelangen wird oder ob man sich nicht in Zukunft dem gelbrötlichen Glühlichte, welches der gewohnten Farbe des Gaslichtes näher kommt, mehr noch als bisher der Fall gewesen ist, zuwenden dürfte. Für manche Zwecke im Innern von

Baulichkeiten, wo eine ausgedehnte Lichtverteilung sich wünschenswert macht, ist dies zu erwarten, und deswegen wollen wir den Erfindungen und Ausführungen, welche in dieser Hinsicht gemacht worden sind, noch einige Betrachtungen zu teil werden lassen.

Es lag sehr nahe, das Erglühen, in welches dünne, zwischen die Polenden gebrachte Leiter geraten, wenn ein kräftiger Strom durch sie hindurchgeht, zu Leuchtzwecken zu benutzen. Nur war der Übelstand hinderlich, daß diese Leiter bei der großen Hitze, die sich gleichzeitig in ihnen entwickelte, in freier Luft sehr rasch verbrannten und die Leitung dadurch unterbrochen wurde. Selbst das Platin, das widerstandskräftigste Metall in dieser Beziehung, erwies sich nicht tauglich und erst dadurch, daß man den Glühkörper im luftleeren Raume dem elektrischen Strome aussetzte, war eine größere Dauerhaftigkeit ermöglicht. Die ersten Versuche in dieser Hinsicht sind sehr alt, denn schon 1838 wurde von Jobart der Vorschlag gemacht, Kohle in solcher Weise durch den elektrischen Strom glühleuchtend zu machen. Andre (z. B. Moleyns, England 1841) bemühten sich in gleicher Richtung, aber da damals das eben erst in Aufnahme gekommene Gaslicht alle Wünsche erfüllte, mit nur geringer Energie; erst in den letzten siebziger Jahren, in der Renaissance des elektrischen Lichtes, sind wirklich brauchbare Glühlichtlampen erfunden worden, und die Systeme von Swan, Maxim, Edison und Lanefox haben sich als die hervorragendsten bemerklich gemacht.


Fig. 374. Thomas Alva Edison.

Gemeinsam ist allen das luftleer gemachte Glasgefäß, in welchem ein schwacher Kohlenbügel glüht; Verschiedenheiten bestehen in der Form dieses Kohlefadens, namentlich aber in der Art seiner Herstellung; andre Abweichungen sind unwesentlich.

Edison benutzt Bambusfasern zu seinen Glühfäden, die er mittels Maschinen aus dem Rohre herausspaltet und in die Uförmige Biegung bringt, welche der Leuchtkörper schließlich zeigen soll. In dieser Gestalt kommen die Fasern in eiserne Formplatten und werden mit diesen zu vielen Tausenden in einem Ofen dem durch Erfahrung erkannten notwendigen Hitzegrade ausgesetzt. Nach geschehener Verkohlung haben sie eine Stärke von etwa 1 mm und eine Länge von etwa 12 mm, sie stellen eine sehr gleichmäßige Masse von ziemlicher Feinheit, Härte und Festigkeit dar und behalten nun die ihnen gegebene Form. Die Enden der Kohlenbügel werden hierauf mit Platindrähten in Verbindung gebracht und mit diesen so in ein birnförmiges Glasgefäß eingeschmolzen, daß jene Platinadrähte durch den Boden hindurch reichen und später mit den Poldrähten der elektrischen Batterie verbunden werden können. Die Glasbirne hat oben noch eine kleine Öffnung; durch diese wird schließlich mittels einer Luftpumpe die Luft soviel wie möglich herausgezogen, wenn dies geschehen, wird die feine Öffnung durch Zuschmelzen verschlossen. Während des Auspumpens läßt man durch den Kohlefaden einen elektrischen Strom gehen, um durch das Erglühen die von der Kohle absorbierten Gase leichter und vollständiger zu entfernen. Der untere Teil der Glasbirne kommt dann in eine messingene Fassung, in welche ein Gasgewinde eingeschnitten ist, so daß der Leuchtkörper auch auf etwa vorhandene Gaslüster aufgeschraubt werden kann. Um die Verbindung mit den Poldrähten herzustellen oder zu unterbrechen, die Lampe in den Strom ein- oder aus ihm auszuschalten,

benutzt man eine Vorrichtung, die ähnlich wie ein Gashahn gedreht werden kann, damit aber die Kohle nicht durch zu starke Ströme zerstört werde, so ist unten in der Blechfassung bisweilen auch noch ein Stück der Leitung aus Bleidraht gerade von solcher Dicke hergestellt, daß dasselbe schmilzt, wenn der Strom eine gewisse Stärke überschreitet und somit durch Unterbrechung des Stromes den Kohlebügel vor allzugroßer Erhitzung schützt.

Bei der Swanlampe sind die Platindrähte, welche die Kohlebügel tragen, isoliert voneinander in ein Glasröhrchen eingeschmolzen, das seinerseits dann mit der Glaskugel verschmolzen wird. Nach unten enden sie in kleine Schlingen, in welche die häkchenförmigen Enden zweier zu den Klemmschrauben der Poldrähte führenden Platindrähtchen eingreifen. Der Kohlebügel ist in Form einer Schlinge durch Verkohlung von Baumwollfaser hergestellt.

Maxin dagegen benutzt Bristolpapier zum Verkohlen, aus welchem der Leuchtkörper in Form eines gerundeten M ausgestanzt wird, unten enden die beiden Schenkel in kleine Scheibchen, welche die Verbindung mit den Platindrähten erleichtern. Die Verkohlung geschieht wie bei Edison, nur benutzt Maxin späterhin beim Luftleermachen der Kugel Gasolindämpfe, mit denen er den Glaskörper füllt und die, wenn die Kohle durch einen Strom zum Glühen gebracht wird, durch ihre Zersetzung feine Kohleteilchen in den Poren und auf der Oberfläche der Papierkohle absetzen, dadurch aber diese selbst dichter und fester machen. Was nun die Einschaltung dieser Glühlichtlampen in den elektrischen Strom anlangt, so erfolgt diese in sogenannter Parallelschaltung entweder so, daß der Hauptdraht in so viel Teildrähte, als Lampen gespeist werden sollen, verzweigt wird und hinter der Lampe diese Verzweigungen sich wieder vereinigen, oder aber so, daß die Zweigleitungen in die beiden Poldrähte wie die Sprossen einer Leiter eingeschaltet werden. In beiden Fällen fällt Abzweigung und Wiedervereinigung der verschiedenen Teilungen in gleiche Stromphasen, während bei der Hintereinanderschaltung der Strom die Abzweigungs- und Vereinigungsstelle nicht gleichzeitig passieren würde. Da die einzelnen Glühlichter eine viel geringere Leuchtkraft zu entwickeln haben als die Bogenlichter, so ist die Stromverzweigung bei jenen noch viel notwendiger.

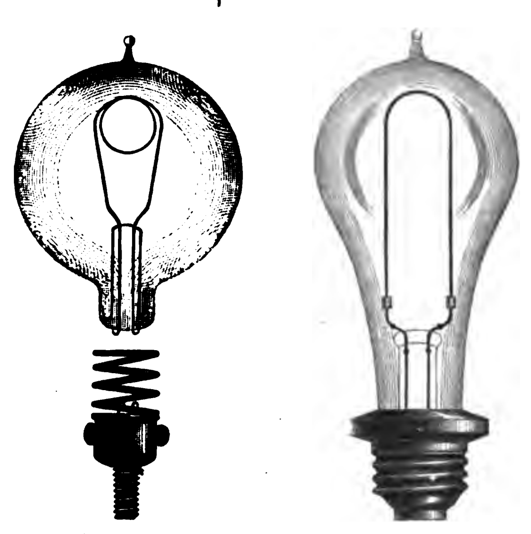


Fig. 375. Fig. 376.
Glühlampen nach Swan und Edison.

Die Glühlichter haben in den wenigen Jahren seit ihrer Vervollkommnung bereits eine ganz unglaubliche Verbreitung für Beleuchtung von Innenräumen namentlich gefunden. In New York ist bereits ein ganzes Stadtviertel mit Edisonlampen versehen, in Europa tritt neben Edison das Swansystem als Konkurrent auf. Theater, Ausstellungsräume, Gesellschaftssäle, Restaurants, Dampfschiffe haben Hunderttausende dieser Leuchtkörper schon in Wirksamkeit, und von Tag zu Tag vergrößert sich ihre Zahl.

Hiermit wollen wir das elektrische Licht an dieser Stelle verlassen, wir haben im fünften Bande dieses Werkes, in welchem den verschiedenen Beleuchtungsarten ein eignes Kapitel gewidmet ist, Gelegenheit, seine Verwendung zu behandeln, während wir es hier nur mit seiner Erzeugung zu thun hatten.

Chemische Wirkungen des galvanischen Stromes. Die eigentümlichen Wirkungen, welche der elektrische Strom auf den menschlichen Körper, auf Nerven- und Muskelsystem ausübt, machen sich besonders bemerklich beim Eintreten und beim Verschwinden, also bei den Unterbrechungen desselben, weniger beim stetigen Verlauf; zu ihrer Erzeugung sind deswegen auch ganz besondere Apparate nötig. Wir werden sie später betrachten, zunächst wollen wir noch einen Blick auf die chemische Wirkung des elektrischen Stromes werfen.

Elektrolyse. In jeder zusammengesetzten chemischen Verbindung sind die Bestandteile von verschiedener elektrischer Qualität, infolge derer sie verschiedene Stellen in der elektrischen Spannungsreihe annehmen würden. Wasser besteht z. B. aus Wasserstoff und Sauerstoff, von denen der erste gegen den zweiten positiv, der zweite gegen den ersten dagegen negativ sich verhält. Ragen nun beide Pole (Elektroden) einer hinlänglich starken galvanischen Kette in angesäuertes Wasser, so daß der Strom durch dasselbe von einem zum andern übergehen kann, so erfolgt, wie wir schon bei der Voltaschen Säule gesehen haben, eine Zersetzung in der Art, daß der positive Pol, oder die Anode, den negativen Sauerstoff, der negative Pol, die Kathode, dagegen den positiven Wasserstoff anzieht. Beide Gasarten entwickeln sich in kleinen Bläschen an den Polenden, wo sie aufgefangen werden können (Fig. 377). Dabei erhält man immer doppelt soviel Wasserstoff als Sauerstoff, weil in diesen Verhältnissen beide Gase im Wasser miteinander verbunden sind.

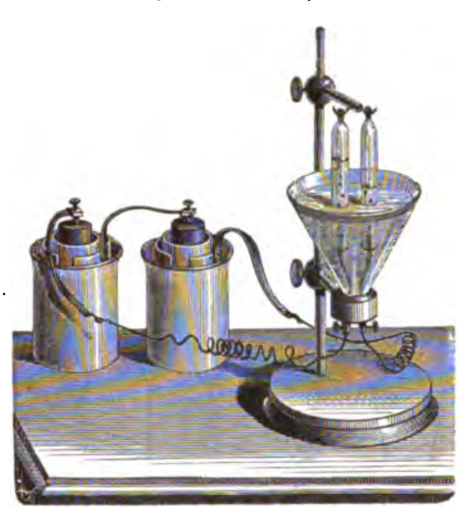


Fig. 377. Wasserzersetzung durch den elektrischen Strom.

Die Zersetzung des Wassers hatte man schon im Jahre 1800 kennen gelernt; 1807 entdeckte Humphrey Davy die ganz analoge Zersetzbarkeit der Alkalien und Erden, welche man bis dahin für elementare Körper gehalten hatte, und zeigte, daß dieselben sogenannte Oxyde, d. i. einfache Verbindungen eigentümlicher Metalle mit Sauerstoff seien. In der Pottasche fand man das Kalium, in der Soda das Natrium; Calcium, Magnesium, Aluminium und Silicium wurden als die Grundbestandteile der Kalkerde, der Talk-, Thonerde und des Kiesels erkannt, und durch diese Thatsache gewann die Chemie erst das sichere Fundament, auf welchem sie sich so ungemein rasch und erfolgreich entwickelte.

Die genannten Körper sind Metalle oder metallähnliche Körper, sie stehen in der elektrischen Spannungsreihe am äußersten positiven Ende. Der Sauerstoff dagegen ist einer der negativsten Körper und er scheidet sich daher immer am positiven Pole aus, während jene Metalle am negativen Pole einer starken Batterie in gediegenem Zustande sich ablagern. Dieser gediegene Zustand ist jedoch unter Verhältnissen, d. h. bei Zutritt der atmosphärischen Luft, für das Kalium, Natrium u. s. w. durchaus nicht zu halten. Ihre Verwandtschaft zum Sauerstoff ist so groß, daß sie sofort wieder denselben aus der Luft an sich reißen und sich unter Lichterscheinung mit ihm verbinden, verbrennen. Deswegen findet man dergleichen Elemente eben auch nicht in der Natur in gediegenem Zustande, und es hat langer Zeit bedurft und einer hohen Ausbildung der Wissenschaft, um sie aus ihren Verbindungen darzustellen.

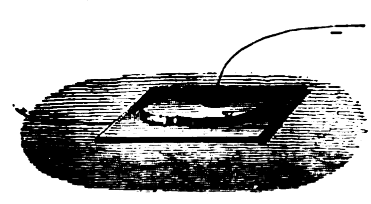


Fig. 378. Davys Zersetzung der Alkalien.

Davy gelang es, indem er einen Block Pottasche (geschmolzen und wasserfrei) mit dem positiven Pole einer starken galvanischen Batterie verband. Den negativen Pol leitete er in eine Höhlung dieses Blocks, die er mit Quecksilber angefüllt hatte (Fig. 378). Das am negativen Pol sich ausscheidende Kalium, welches bei früheren Versuchen immer verbrannt war, fand jetzt in dem Quecksilber einen Körper, mit dem es sich verbinden konnte und der es vor den Einwirkungen der Luft schützte. Es bildete sich Kaliumamalgam, aus welchem Davy dann das Kalium durch Abdestillieren des Quecksilbers isolierte.

Salze sind kompliziertere chemische Verbindungen, in denen je zwei bereits zusammengesetzte Körper sich miteinander zu einem dritten neuen vereinigt haben, und werden nichtsdestoweniger auch zerlegt, wenn sie sich nur in einen flüssigen Zustand überführen lassen, so daß sie in demselben die Leitung zwischen den beiden Polen übernehmen können.

Der Anschaulichkeit wegen dürfen wir uns denken, daß ihre Moleküle dabei vorerst in die beiden zunächstliegenden Bestandteile, Säure und Basis, zerfallen, die sich an die entsprechenden Pole begeben; indessen gehen sie hier auch sogleich in weitere Zersetzung über, so daß sich an den beiden Elektroden die entgegengesetzten Elemente ausscheiden. Taucht man z. B. in eine Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyd die Polenden einer Batterie, so steigen am positiven Ende kleine Bläschen von Sauerstoff als des negativsten Körpers auf, am negativen Pole dagegen scheidet sich metallisches Kupfer als der positivste Körper aus. Die Schwefelsäure begibt sich an den positiven Pol und löst hier, wenn es ihr geboten wird, ebensoviel metallisches Kupfer wieder auf, als sich am negativen Pole ausschied. Diese Verhältnisse haben bei der schon erwähnten Daniellschen Batterie zur Anwendung einer Kupfervitriollösung, in welche die negative Kupferplatte getaucht wird, geführt, weil auf diese Weise immer eine blanke Metallplatte mit der Flüssigkeit in Berührung bleibt. Anderseits aber haben sie die Natur zu einer merkwürdigen Künstlerin heranbilden gelehrt, indem jene Kupferniederschläge zusammenhängend, fest und doch so zart hervorgerufen werden können, daß sie alle Erhöhungen und Vertiefungen, die sich auf der negativen Polplatte vorfinden, auf das genaueste abbilden.

Diese industrielle Verwendungsart nennt man

Galvanoplastik. Der erste Entdecker ihrer Grunderscheinung ist Wach, welcher 1830 bei der Konstruktion einer konstanten Kette die Ablagerung von Kupfer bemerkte. Zwar will man schon den alten Ägyptern die Ausübung dieser Kunst zuschreiben, weil man in ägyptischen Gräbern große Figuren, Gefäße ꝛc., aus sehr dünnem Kupfer erzeugt, andre aus Holz gefertigt mit einem schwachen Kupferüberzug, vorgefunden hat und man sich die Herstellung dieser Gegenstände durch den galvanischen Strom vollzogen vorgestellt. Allein die Beweise sind so schwankender Natur, daß wir die Erfindung wohl erst aus diesem Jahrhundert datieren können, wo dieselbe mit Bewußtsein gemacht und auf Grund der genau erkannten Vorgänge zur Vollkommenheit ausgebildet wurde.



Fig. 379. H. Jakobi, Erfinder der Galvanoplastik.

Wahrscheinlich treibt die Natur den galvanoplastischen Prozeß seit Millionen von Jahren schon in größter Ausdehnung; wenigstens gibt es für die Erklärung des Entstehens der Lagerstätten von gediegenen Metallen, die sich hier und da finden, an den Oberen Seen in Nordamerika z. B., sowie des Vorkommens von gediegenem Kupfer innerhalb der Schichten sedimentärer Gesteine, keine einfachere Erklärung als die Annahme, daß der elektrische Strom, der im Laboratorium des Chemikers das Kupfer aus seinen Lösungen zu scheiden vermag, auch in der großen Werkstätte der Schöpfung seine Thätigkeit immerdar geübt hat.

Für uns sind es namentlich zwei Männer, H. Jakobi in Petersburg und Spencer in Liverpool, welche, wie es scheint, gleichzeitig und ohne voneinander zu wissen, den Gedanken, das am negativen Pole sich niederschlagende Kupfer über bestimmte Formen wachsen zu lassen, ausführten. Es scheint, als ob Jakobi (1838) zuerst zu einem günstigen Erfolge gekommen sei, wenigstens wird er allgemein als der Erfinder der praktischen Methode angesehen, und von der russischen Regierung erhielt er nach Herstellung seiner ersten galvanoplastischen Produkte eine Belohnung von 25 000 Rubeln.

Die galvanoplastischen Apparate sind nichts weiter als galvanische Ketten, gewöhnlich von Zink und Kupfer, deren negativer Pol in eine Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyd, deren positiver dagegen in verdünnte Schwefelsäure eintaucht. Die beiden Flüssigkeiten sind durch eine poröse Wand — tierische Blase oder eine Thonzelle — voneinander getrennt, wie wir bei Fig. 380 beobachten können.

Man kann sich mit einem Kostenaufwande von nur wenigen Pfennigen selbst einen einfachen Apparat dieser Art herstellen. In ein cylindrisches, sogenanntes Zucker- oder Einmacheglas wird ein offener hölzerner Cylinder, etwa eine runde Schachtel ohne Boden, dergestalt eingepaßt, daß ringsum reichlich 1 ½ cm Spielraum vorhanden ist; dann nimmt man ein Stück nasse Schweins- oder Rindsblase und bildet daraus einen Boden für die Schachtel, indem man die Blase um den Rand mit mehrfach umschlagenem Bindfaden recht fest bindet. Das untere Gefäß dient zur Aufnahme des negativen Poles, die poröse Zelle für den positiven Pol; ersteres wird daher mit Kupfervitriollösung, letztere mit verdünnter Schwefelsäure (30—40 Teile Wasser auf 1 Teil Schwefelsäure) gefüllt; dann hängt man die Blase so in das Glas, daß in beiden die Flüssigkeiten ungefähr gleichhoch stehen. Legt man nun in die Kupferauflösung eine Kupferplatte, an welche als Leitung ein Streifen Kupfer- oder Messingblech angelötet, oder auch nur ein Kupferdraht fest angedreht ist; hängt man ferner in die Schwefelsäure eine Zinkplatte, an welcher sich ebenfalls eine Leitung, wie oben beschrieben, befindet, und verbindet beide Leitungen endlich durch eine Klemmschraube, so hat man damit die Kette zusammengesetzt, und es wird sich bald auf der unteren Platte aus der zersetzten Kupferauflösung ein feiner Niederschlag bilden, der nach und nach immer stärker wird und aus solidem, ganz reinem Kupfer besteht, das sich in alle Vertiefungen hineinsetzt und so ein ganz genaues, verkehrtes Abbild der Platte gibt. Fig. 380 zeigt uns das Arrangement in etwas besserer Ausführung. Wir sehen das äußere Gefäß, welches die Kupfervitriolauflösung enthält; in dasselbe taucht ein zweites, unten mit einer Blase zusammengebundenes Glas mit der verdünnten Schwefelsäure. Der Holzdeckel ist bloß dazu da, um das Hineinfallen von Staub in die Kupferflüssigkeit zu verhüten und dem inneren Gefäße Halt zu geben. Die Zinkplatte ist mit der Kupferplatte leitend verbunden durch metallische Drähte, welche sich in einer Klemme vereinigen. Der Gegenstand, von welchem ein Abdruck genommen werden soll, befindet sich auf der Kupferplatte. Seine Form ist von gar keinem Einfluß, das sich abscheidende Kupfer schlägt sich auf allen leitenden Punkten der Oberfläche nieder. Münzen oder Medaillen geben ein vertieftes Abbild, von einer gravierten Platte wird dagegen der metallische Überzug eine erhabene Kopie zeigen, wie das Siegel von der Platte des Petschaftes. Eine geätzte oder radierte Kupferplatte z. B., wie sie für den Abdruck von Kupferstichen hergestellt worden ist, prägt der Ablagerung die zartesten Linien erhaben ein, und zwar so genau, daß, wenn man diese Ablagerung wieder in den Apparat bringt, man einen neuen Niederschlag entstehen lassen kann, der alle jene feinen Züge wieder vertieft zeigt und eine so genaue Kopie der ersten Platte ist, daß man von derselben Abdrücke erhält, die von denen der Originalplatte nicht zu unterscheiden sind. In der That wird dieses Verfahren vielfach angewendet, um von solcher Kupferplatte, die für sich allein nur etwa 800 gute Abdrücke liefern würde, nicht direkt zu drucken, sondern auf die angegebene Weise sich erst ein negatives Abbild und von diesem sodann beliebig viele mit der Originalplatte auf das schärfste übereinstimmende Druckplatten zu verschaffen. Ausgedehnte Anwendung von diesem Mittel, gestochene teure Platten zu schonen, macht man besonders in den Anstalten für Herstellung von Wertpapieren; außerdem aber bedient man sich des gleichen Verfahrens, um Holzstöcke u. dgl., anstatt sie zu klischieren, viel vollkommener galvanoplastisch zu vervielfältigen.

Mit welcher Treue galvanoplastische Nachbildungen dem Originale entsprechen, wie mikroskopisch fein die Teilchen des ausgeschiedenen Kupfers sich in die Modellierungen der Unterlage hineinpressen, das beweist am besten, daß es bei gut geleitetem, langsam vorschreitendem Prozesse gelingt, von Daguerreotypplatten, auf denen das Bild durch die verschieden dichte Anhäufung feiner Quecksilberkügelchen hervorgerufen wird, vollständig getreue und gleichscharfe Abbilder zu erhalten.

Für viele Zwecke ist es jedoch vorteilhaft, die Stromerzeugung gesondert von dem Niederschlagsgefäße vor sich gehen zu lassen und in die zu zersetzende Metalllösung nur die

beiden Poldrähte hineinzuleiten. Solche Fälle sind in den Abbildungen Fig. 380 und Fig. 381 veranschaulicht. In den letzten Jahren, seit 1878 jedoch sind nun auch die alten Stromerzeugungsbatterien immer mehr in Abnahme gekommen und die dynamoelektrischen Maschinen an ihre Stelle getreten.

Es ist gar nicht unbedingt nötig, daß die Form am negativen Pol, welche mit Kupfer überzogen sein soll, von Metall sei; es genügt, daß ihre Oberfläche leitend gemacht werde. Man kann dann zu den Matrizen Holz, Gips, Schwefel, Stearin, kurz jeden Stoff anwenden, der bildsam genug ist, um irgendwie geformt werden zu können, und der den Aufenthalt in der Kupferlösung verträgt, was z. B. Gipsformen an sich nicht können, wenn sie nicht vorher mit heißem Wachs u. dergl. durchtränkt worden sind. Murray hat im Jahre 1840 zuerst auf die Möglichkeit hingewiesen, nichtmetallische Formen zu galvanoplastischen Niederschlägen zu benutzen. Als ein ausgezeichnetes Abformungsmittel hat sich die für viele Zwecke so nützliche Guttapercha erwiesen. Sie nimmt, wenn sie in heißem Wasser erweicht und so auf das Original gedrückt wird, die feinste Modellierung desselben so vollkommen an, wie fast kein andrer Stoff. Zur Leitendmachung der Oberflächen bieten sich verschiedene Mittel dar. Man reibt die Formen mit fein geschlemmtem Graphit oder Metallbronzen ein, gießt man Formen aus Stearin, so kann ersteres Pulver gleich in die geschmolzene Masse mit eingerührt werden; ferner kann man die leitend zu machenden Flächen mit einer Silberlösung bestreichen und sie den Dämpfen von Schwefeläther aussetzen, in welchem etwas Phosphor aufgelöst ist; es bildet sich hierbei ein feines, sehr gut leitendes Häutchen von Phosphorsilber u. s. w.



Fig. 380. Einfacher galvanoplastischer Apparat.

Da der negative Pol an allen Stellen, mit denen er in die Kupfervitriollösung hineinragt, sich metallisch überzieht und dieser Überzug dann schwer abzulösen sein würde, so bestreicht man diejenigen Punkte, an denen sich kein Kupfer absetzen soll, mit einem Firnis oder mit Wachs und läßt nur die abzuformende Fläche leitend.

Sollen hohle runde Stücke erzeugt werden, so muß der Niederschlag natürlich an den Innenwänden einer Hohlform vor sich gehen, und es wird die Form ungefähr herzustellen sein, wie es Fig. 381 zeigt. Der negative Pol steht hierbei durch die Leitung c mit der Hohlform in Verbindung, während der positive Strom durch die Drähte von k aus in das Innere der Form geführt wird.

Dadurch wird die ganze Innenseite der Form viel sicherer und gleichmäßiger als negativer Pol erregt und es vermindert sich die Gefahr der ungleich kräftigeren Metallausscheidung an der ersten Eintrittsstelle des Stromes oder an besonders kräftig leitenden Punkten. In dem berühmten Etablissement von Christoffle läßt man in gleicher Absicht den + Pol in einen durchlöcherten Bleikörper ausgehen, der, natürlich kleiner als das abzubildende Objekt, der Form desselben annähernd entspricht und in das Innere der Matrize eingehangen wird.

Zum Zweck des Gelingens ist auch notwendig, daß die Zersetzungsflüssigkeit durchweg immer die gleiche Zusammensetzung behält, so daß sie nach allen Richtungen hin frei zirkulieren und sich bezüglich ihrer Sättigungsverhältnisse ausgleichen kann; Hohlformen müssen daher zweckmäßig durchlöchert sein, um den Austausch zwischen der im Innern befindlichen Flüssigkeit und der außerhalb zu gestatten.

Auf diese Art sind zahllose Werke der Bildhauerkunst vervielfältigt worden, ja in vielen Fällen hat der Künstler sein Werk gleich in einer über dem ausgeführten Modell hergestellten Hohlform niedergeschlagen, anstatt es in Stein oder in Erzguß herzustellen. Naturgetreue Nachbildungen kleiner Tiere, wie Eidechsen, Käfer u. dergl., können in Hohlformen galvanoplastisch erzeugt werden, indem man das getötete, aber gut erhaltene Tier mit weicher thoniger Formmasse umblendet, diese trocknet und brennt, die Hohlung von den Aschenresten reinigt und die Innenwände leitend macht. — Ebenso wertvoll, wie dem Kupferstecher, dem Holzschneider &c., ist die Galvanoplastik als Vervielfältigungsmittel für den Schriftgießer, indem sie ihn in den Stand setzt, mit Ersparung des Stempelschneidens in Stahl von jedem gegossenen Buchstaben eine kupferne Matrize unmittelbar zu gewinnen und so den Buchstaben in beliebiger Anzahl aufs neue zu gießen. Selbst die Erzeugung von glatten Platten mit hochfeiner Politur, z. B. zum Behuf der Daguerreotypie, des Kupferstichs, für Glättpressen u. s. w., ist auf galvanischem Wege vorteilhafter als auf dem mechanischen. Sehr gute Platten solcher Art entstehen fast wie von selbst in der Weise, daß man polierte Glastafeln chemisch versilbert (worüber Näheres bei der Spiegelfabrikation) und an diese Silberschicht eine Lage galvanisches Kupfer anwachsen läßt. Der große Wert der Galvanoplastik für die Münz- und Medaillenkunde springt von selbst in die Augen.

Eine interessante Anwendung der hier einschlagenden Vorgänge bildet die Galvanographie mit den verwandten Kunstzweigen der Glyphographie, Stylographie &c., die im ersten Bande dieses Werkes bereits besprochen worden sind. Kurz, die Anwendungen der chemischen Wirkungen des galvanischen Stromes sind in der kurzen Zeit seit ihrer Bekanntschaft so zahlreich geworden, daß wir Mühe haben würden, uns aller zu erinnern.

Für die Industrie ist durch die Erfindung der Galvanoplastik ein Arbeitsfeld geschaffen, welches zahlreiche Kräfte in nützliche Bewegung setzt. Es sind eigne Etablissements entstanden, in denen alle galvanoplastischen Arbeiten ausgeführt werden, andre wieder, in denen nur einzelne Zweige, wie die Abformung von Kupferstichplatten, Holzschnitten u. s. w., betrieben werden.

Namentlich hat Paris sehr bedeutende solcher Ateliers aufzuweisen, und eine der großartigsten galvanoplastischen Unternehmungen dürfte wohl die naturgetreue Nachbildung der Trajanssäule in Rom sein, welche das Etablissement von Oudry in Auteuil bei Paris unternommen hatte.

Bekanntlich ließ der römische Senat dem besten aller Kaiser zum Dank für die Besiegung und Unterwerfung der räuberischen Dacier ein prachtvolles Forum erbauen, auf welchem dann jene bekannte Säule errichtet wurde. Ursprünglich erhob sich auf ihr das Standbild Trajans, später aber ließ einer der Päpste das Bild des Apostels Paulus an dessen Stelle setzen. Die Oberfläche der Säule ist über und über mit Skulpturen bedeckt, welche die Hauptereignisse der Trajanischen Kriege zum Gegenstand haben, und nicht nur ihrer künstlerischen Ausführung wegen, sondern ganz besonders auch kraft der historischen Überlieferungen, die sie uns über Körperbildung, Lebensgewohnheiten, Kleidung, Bewaffnung &c. sowohl der Römer und ihrer Hilfsvölker als der von ihnen unterjochten Barbaren geben, eines der wertvollsten Materialien für das Studium der Kulturentwickelung sind.

Die Säule hat eine Höhe von nahe an 40 m und ist aus 33 Marmorblöcken zusammengesetzt, von denen acht den Sockel, 23 den Schaft, einer das Kapitäl und einer das Fußgestell der Figur bilden. In der Mitte ist jeder dieser Blöcke wie ein Mühlstein durchbrochen. Durch die senkrechte Öffnung führt eine Wendeltreppe auf die Plattform hinauf. Die Außenwand trägt die Bildhauerarbeit, welche sich schraubenförmig in zwanzig ansteigenden Windungen zur Höhe zieht. Unten ist die Höhe der Figuren $0{,}_6$ m, am oberen Teile, welcher vom Beschauer entfernter liegt, das Doppelte. Die Gestalt des Kaisers wiederholt sich etwa 50mal, die Zahl der Figuren überhaupt aber beträgt zwischen 2000 und 3000. Dieses bedeutsame Werk alter Bildhauerkunst nun sollte in Paris auf Kosten Napoleons galvanoplastisch reproduziert werden. Von dem Original waren Gipsabgüsse genommen worden; dieselben wurden in dem Atelier Oudry als Matrizen in den galvanoplastischen Apparat gebracht.

Bei den rein galvanoplastischen Verfahren kommt es, wie wir gesehen haben, hauptsächlich darauf an, neues Kupfer in solchen Formen zu erzeugen, daß sie selbständige nutzbare Stücke bilden. Insofern die Urform von Metall ist, muß dabei Vorsorge getroffen werden, daß das neue mit dem alten nicht etwa untrennbar zusammenwachse. Dieses wird leicht verhütet durch ein schwaches Einölen der Form, durch Einreiben mit Graphit u. s. w. Wird aber ein Stück Metall mit Säure ganz rein gebeizt und gleich in den Apparat gehängt, so haftet der Niederschlag viel fester, zumal wenn er nur eine ganz dünne Schicht bildet. Hieraus ergibt sich die Möglichkeit, ein Metall mit einem andern zu überziehen, oder auch nichtmetallische Körper metallisch einzuhüllen.

Man überzieht auf diese Art mancherlei Gegenstände mit Kupfer, um sie dauerhafter zu machen. Am häufigsten aber benutzt man dieses Mittel, um unedle Metalle mit edlen zu überkleiden.

Die galvanische Vergoldung und Versilberung namentlich hat eine sehr ausgedehnte Anwendung erlangt und wird auf eine Menge Verbrauchsartikel angewendet; die bekannten Chinasilberwaren z. B. bestehen aus galvanisch versilbertem Neusilber.

Die Apparate zum Vergolden, Versilbern u. s. w. unterscheiden sich nicht wesentlich von den schon beschriebenen; die Batterie hat eine gesonderte Aufstellung, ihre Poldrähte werden in die Flüssigkeit hineingeführt, welche das abzuscheidende Metall in Lösung enthält und so mit dem damit zu überziehenden Gegenstande, der natürlich auf seiner Oberfläche gut leitend gemacht sein muß, verbunden, daß, da wie bei der Galvanoplastik der negative Pol die Ablagerungsstelle bildet, der betreffende Draht also in die zu vergoldenden rc. Gegenstände eingeführt ist, die untereinander leitend verbunden sein müssen, während der positive Pol durch eine Platte desselben Metalles gebildet wird, das sich an der entgegengesetzten Seite ausscheidet. Dem zu veredelnden Gegenstande wird als zweiter Pol demnach beim Vergolden eine Goldplatte, beim Versilbern eine Silberplatte u. s. w. gegenübergestellt. Als Lösungsmittel benutzt man beim Vergolden und Versilbern eine Lösung von Cyankalium, und auch bei den Arbeiten mit Kupfer ist dieselbe vorteilhaft zu verwenden. Man bereitet die Flüssigkeiten entweder so, daß man zu den Lösungen von Kupfervitriol, Chlorgold, salpetersaurem Silber oder dergl. so lange Cyankalium gibt, bis die entstandenen Niederschläge wieder aufgelöst worden sind, oder man bedient sich einer starken Batterie, deren Drähte man in eine Lösung von Cyankalium taucht; das negative Drahtende wird mit einem Platinblech, das positive mit einem Stück des aufzulösenden Metalls versehen. Die Auflösung geschieht durch dieselbe Kraft, die am andern Pole den Niederschlag bewirkt, das Verfahren selbst hat man Galvanokaustik genannt und es wird von demselben auch zur Herstellung von geätzten Druckplatten Anwendung gemacht. Die Flüssigkeit ist gesättigt, sobald neues Metall am negativen Platinpol auftritt.

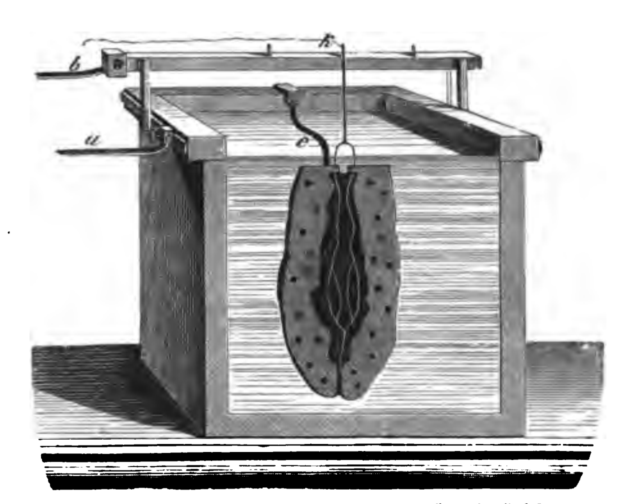


Fig. 381. Herstellung galvanoplastischer Gegenstände in Hohlform.

In der oben beschriebenen Zusammensetzung der Batterie vollzieht sich nun derselbe Prozeß in ganz gleicher Weise und ihm zu Gefallen hängt man eben als positive Polplatte (lösliche Elektrode) dasselbe Metall in die Flüssigkeit, welches am negativen Ende sich niederschlagen soll; infolgedessen bleibt dann die Lösung immer auf demselben Grade der Sättigung.

Ebenso wie man Kupfer, Silber, Gold mittels des elektrischen Stromes aus gewissen ihrer Verbindungen ausfällen und dauernd auf leitender Unterlage befestigen kann, ebenso kann man auch Zink, Zinn, Eisen, Nickel u. s. w. als einen dünnen Überzug aus geeigneten Lösungen ausscheiden und damit andre Gegenstände verzinken, verzinnen, verstählen, vernickeln. Sogar Legierungen sind zu gleicher Behandlung geeignet, Messing, Bronze u. s. w. bilden sich aus Flüssigkeiten, in denen die entsprechenden Metalle in den richtigen Verhältnissen enthalten und durch ein passendes Lösungsmittel verbunden sind. Man hat es in der Hand, der sich niederschlagenden Bronze eine mehr oder weniger braune Färbung zu erteilen, je nachdem man mehr oder weniger Kupfersalz in die Flüssigkeit einführt. Als positive Polplatte dient selbstverständlich auch hier allemal dasselbe Metall, welches abgeschieden werden soll, beziehentlich dieselbe Metalllegierung, Bronze und dergl. Für die verschiedenen Metalle haben sich gewisse Abweichungen in der Zusammensetzung der Lösungsflüssigkeiten als zweckmäßig erwiesen. Während man z. B. auf Gold und Silber die Verkupferung in einem Bade von Kupfervitriol bewirkt, ist dies auf Eisen nicht thunlich und man muß für diesen Fall eine Lösung von Cyankupfer in Cyankalium zur Verfügung halten; Versilbern geschieht in einer Lösung von Cyansilber in Cyankalium. Zur Verzinnung bereitet man das Bad aus einer Lösung von Zinnchlorid in Wasser, der man Ätzkalilauge so lange zusetzt, bis sich der gebildete Niederschlag gerade wieder gelöst hat. Eisen schlägt sich am besten nieder aus einer Mischung von schwefelsaurem Eisenoxydul, Ammoniak und Ammonium-Eisenchlorür in Wasser gelöst. Vielfach ist in neuerer Zeit das Vernickeln in Anwendung gekommen, wodurch die Gegenstände nicht nur eine schöne glänzende Oberfläche, sondern auf derselben auch eine ziemliche Härte und Widerstandsfähigkeit erlangen; das hierzu verwendete Bad besteht aus einer Lösung von Chlornickel, Wasser, Zitronensäure und einem Zusatz von Salmiakgeist; eiserne Objekte müssen vor dem Vernickeln verkupfert werden; ein andres Nickelbad wird aus 1 kg schwefelsaurem Nickeloxydulammoniak, 50 g raffinierter Borsäure mit 20 l Wasser hergestellt, das man zusammen kocht und abkühlen läßt.

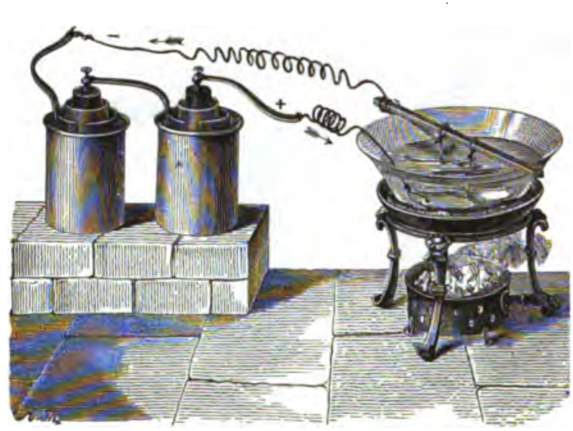


Fig. 382. Galvanische Versilberung.

Von all diesen Veredelungsverfahren aber hat die galvanische Versilberung und Vergoldung bei weitem die größte wirtschaftliche Wichtigkeit, nicht nur insofern, als durch dieselbe große Quantitäten edler Metalle erspart werden, sondern auch weil dadurch die infolge der sich entwickelnden Quecksilberdämpfe höchst gefährliche Feuervergoldung eine segensreiche Beschränkung erlitten hat. In Ruhla (Thüringen) werden mit 3 Mark 4—600 Dutzend Pfeifenbeschläge versilbert, so daß also auf ein Dutzend nicht mehr als für $0{,}_{72}$ Pfennig Silber kommt; anderseits vergoldet man mit 5 Gran Gold ($1\frac{1}{2}$ Mark wert) 12 Dutzend Knöpfe von $2\frac{1}{2}$ cm Durchmesser; bei geringeren Sorten beträgt die Dicke des Überzugs nicht mehr als $\frac{1}{100000}$ cm Gold. Um für solche Zwecke die richtige Menge Silber oder Gold aus der Lösung abzuscheiden und den verlangten Grad der Veredelung zwar hervorzurufen, aber auch nicht überflüssigerweise die kostbaren Metalle zu vergeuden, hat man besondere Wagen konstruiert, welche den Fortgang des Prozesses selbstthätig unterbrechen, sobald die beabsichtigte Menge Metall abgelagert ist. Sie sind so eingerichtet, daß die zu überziehenden Gegenstände an das eine Ende eines doppelarmigen Wagebalkens angehängt werden. Der Strom geht aus dem galvanischen Element durch den Wagebalken

und den Aufhängungsdraht, und ist so lange geschlossen, als die andre Seite des Wagebalkens durch ein Gewicht, welches der abzuscheidenden Metallmenge entspricht, niedergehalten wird. Sobald aber so viel von dem Niederschlage sich abgesetzt hat, daß dieses Gewicht überwunden wird, geht diejenige Seite, an welcher die Gegenstände hängen, herab, der Strom wird unterbrochen und die Gold- oder Silberausscheidung hört dann mit demselben Augenblicke auf. Eine solche Wage befand sich im Jahre 1867 auf der Pariser Weltausstellung.

Damit indes der Gold- oder Silberüberzug die ganze Oberfläche auf eine gleichförmige Weise bedecke, muß der Gegenstand vollkommen gereinigt und gänzlich frei von allem Fette sein. Je nachdem eine hellgelbe oder rötliche Farbe hervorgehen soll, dienen verschiedene Flüssigkeiten. Reines Chlorgold in Cyankalium und Wasser gelöst gibt eine schöne gelbe Farbe. Rötliche Vergoldung entsteht durch Zusatz von Kupfervitriol, grünliche durch eine entsprechende Beigabe von Cyansilber u. s. w.

Die umfangreichsten Vergoldungen auf galvanischem Wege wurden unstreitig vom Herzoge Max von Leuchtenberg in der russischen galvanoplastischen Anstalt zu Reval vorgenommen. Es handelte sich hierbei um die Vergoldung der für die Säulen der Isaakskirche zu Petersburg bestimmten, aus Bronze gegossenen Füße und Kapitälchen, welche ein Gesamtgewicht von 28 000 kg hatten. Die Höhe der größten Kapitäle betrug $1{,}_{45}$ m und der Durchmesser der weitesten Basen $1{,}_{10}$ cm, und dazu waren Niederschlagskästen nötig, von denen jeder 5700 l Goldflüssigkeit enthalten sollte. Diese Kästen wurden zu je zwei um einen großen beweglichen Krahn gestellt, mit welchem die Bronzestücke an kupfernen Ketten aufgehoben und nach Belieben durch zwei Mann in die Kisten gebracht und ausgehoben werden konnten. Die Goldauflösung enthielt 8—10 g Gold im Quart; das nötige Cyankalium wurde in der Anstalt selbst bereitet. So geschah es, daß oft 10—15 kg Gold an einem Tage aufgelöst und in konzentrierte Cyanlösung verwandelt wurden, und in drei Jahren, solange diese Arbeiten dauerten, betrug der Goldverbrauch mehr als 280 kg.

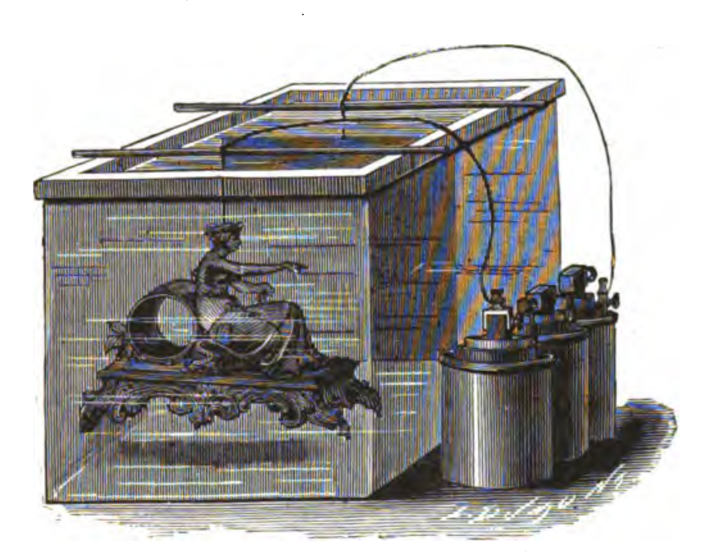


Fig. 383. Apparat zur galvanischen Versilberung.

Um weit größere Mengen handelt es sich aber noch bei der galvanischen Versilberung in Werkstätten wie der von Christoffle & Co. in Paris, St. Denis und Karlsruhe, oder in der von Elkington in London, wo die Massenerzeugung von versilberten Tischgeräten, Eßbestecken u. s. w. betrieben wird. In einem einzigen Jahre (1865) betrug die bei Christoffle zu galvanischer Versilberung verbrauchte Silbermenge das Gewicht von 33 600 kg, welche in sich einen Wert von 5 360 000 Mark repräsentierten, und mittels deren 5 600 000 Bestecke mit einer äußerlichen Silberschicht versehen wurden.



Was du ererbt von deinen Vätern hast,
Erwirb es, um es zu besitzen.
Was man nicht nützt, ist eine schwere Last;
Nur was der Augenblick erschafft, das kann er nützen.

Goethe.

Die elektromagnetischen Apparate.

Oersteds Entdeckung. Ablenkung der Magnetnadel. Ampère und das Ampèresche Gesetz. Schweiggers Multiplikator. Du Bois Reymond. Parallele Ströme ziehen sich an. Elektromagnetismus und Magnetoelektrizität. Faraday. Induktionsapparate. Ältere Rotationsapparate. Physiologische Wirkungen. Große Rotationsapparate zum Walfischfang und behufs der Erzeugung des elektrischen Lichtes. Magnetische Kraftlinien. Siemens' Cylinderinduktor. Die Pacinottische Ringmaschine. Maschinen von Gramme, von Hefner-Alteneck. Siemens' elektrodynamisches Prinzip. Dynamoelektrische Maschinen. Der Elektromagnetismus als Betriebskraft.

Die merkwürdigen Erscheinungen, zu welchen die Voltasche Säule Veranlassung gab, hatten in der gelehrten Welt ein großes Aufsehen hervorgerufen. Namentlich war es ihre polare Beschaffenheit, welche die damals sehr thätigen Naturphilosophen besonders beschäftigte und Phantasie und Scharfsinn in Bewegung setzte, um die Vorstellung von der „Urkraft", für welche man damals schwärmte, aus den täglich sich mehrenden neuen Erfahrungen endlich herauszuschälen. Man hatte sich auf vielen Seiten in den Kopf gesetzt, die Voltasche Säule mit dem Magnet zu identifizieren, und es wurden mit mächtigen Apparaten Versuche angestellt, um die Übereinstimmung der durch Berührung entstandenen Elektrizität und des Magnetismus nachzuweisen. Indessen waren die darauf gerichteten Bestrebungen vergeblich, obwohl jene Hoffnungen aufs neue belebt wurden durch die auf andrer Seite gemachte Entdeckung, daß der Blitz sowohl als der Funke der Leidener Flasche auf Magnetnadeln einen ganz entschiedenen Einfluß auszuüben vermögen, indem sie die Pole derselben umkehren oder ihren Magnetismus ganz und gar vernichten oder auch nicht magnetische Stahlnadeln zu Magneten machen können. Eine Ahnung war aufgetaucht, aber es fehlte noch an dem rechten Worte, um den Berg Sesam zu öffnen.

Da machte im Winter von 1819 zu 1820 Oersted in Kopenhagen in einer seiner Vorlesungen über Physik die merkwürdige Beobachtung, daß ein feiner Platindraht, welcher, mit den Polen einer Voltaschen Säule verbunden, glühend geworden war, eine Magnetnadel, über welche er gerade wegging, in ganz eigentümliche Schwankungen versetzte. Lange vorher sollen übrigens analoge Erscheinungen bereits von dem Physiker Romagnosi bemerkt und von Aldini veröffentlicht worden sein. Indessen wird dies von andrer Seite bestritten. Jedenfalls haben weder Romagnosi noch Oersted selbst von vornherein die Wichtigkeit ihrer Entdeckung geahnt. Denn auch 1820 noch ließ der letztgenannte mehr als ein halbes Jahre vergehen, ehe er seine Beobachtung den Naturforschern in einer Schrift bekannt machte. Und dann dauerte es wiederum verhältnismäßig lange, ehe die aufgeschossenen falschen Voraussetzungen beseitigt waren und die Thatsache in ihrer einfachen Erscheinung erkannt wurde. So hielt man fälschlicherweise zuerst dafür, daß eine große Anzahl von Platten, also eine große Spannung, den Ausschlag der Nadel vergrößere, während es dabei nicht darauf, sondern vielmehr auf die Oberflächengröße der stromerregenden Platten ankommt. Als aber nach und nach die Oerstedsche Entdeckung sich fixierte, da rief sie einen förmlichen Rausch hervor, einen Enthusiasmus, wie ihn in der ganzen Geschichte der Wissenschaften nur etwa die ersten Luftballons entzündet haben. Für einige Zeit wurden alle übrigen Gebiete der Physik von ihren Bearbeitern verlassen; in den wissenschaftlichen Zeitschriften begegnete man fast nur Berichten und Diskussionen von Versuchen, welche sich auf das neue Prinzip basierten, und nicht nur die Naturforscher, Physiker und Ärzte wiederholten und probierten, sondern auch Dilettanten und solche, welchen derartige Forschungen sonst fremd zu sein pflegen, bemächtigten sich, wie Pfaff sagt, mit einer unerhörten Leidenschaftlichkeit der neuen Thatsachen. Oersted lebte in aller Munde, und doch konnte noch niemand die Tragweite seiner Wahrnehmung und der daraus abgeleiteten Schlüsse ahnen. Wenn wir heute freilich die aus jenem Keim gesproßten Erfolge, deren großartigster die elektromagnetische Telegraphie ist, erwägen, so scheint es uns kaum glaublich, daß der Ursprung der ganzen Wissenschaft nicht viel weiter als ein halbes Jahrhundert hinter uns zurückliegen soll.



Fig. 385. Christian Oersted.

Den Oerstedschen Grundversuch können wir leicht anstellen; wir brauchen nur den Schließungsdraht eines galvanischen Elements so über eine freischwebende Magnetnadel zu halten, daß er der natürlichen Richtung Nord-Süd derselben folgt. Geht kein Strom durch den Draht, so behält auch die Nadel ihre Lage nach Norden; sobald aber die Kette geschlossen wird, schlägt sie aus und sucht sich je nach der Stärke des Stromes mit mehr oder weniger Entschiedenheit senkrecht auf die Richtung des Drahtes zu stellen. Es bleibt sich aber nicht gleich, ob der Draht, anstatt oberhalb, unterhalb der Nadel hingeführt wird. Der Ausschlag erfolgt zwar in beiden Fällen, allein es tritt der Unterschied ein, daß das eine Mal der Nordpol nach links, das andre Mal nach rechts ausweicht. Die Richtung des Ausschlags hängt mit der Richtung des Stromes in der Art zusammen, daß, wenn man sich mit dem Strome schwimmend denkt, und zwar das Gesicht der Magnetnadel zugewandt, die Nordspitze der Nadel jedesmal nach links, die Südspitze dagegen nach rechts ausstreicht.

Leitet man daher den Draht, nachdem er oberhalb der Nadel weggeführt worden ist, unterhalb derselben wieder zurück (s. Fig. 386), so wird er in beiden Fällen in demselben Sinne wirken und der Ausschlag muß mit verdoppelter Kraft geschehen. In Fig. 387 ist das von dem französischen Physiker Ampère, dem wir die wissenschaftliche Begründung der elektromagnetischen Erscheinungen verdanken, erkannte Gesetz bildlich ausgedrückt. CD und EF stellen Drähte dar, welche in der Richtung der Pfeile von dem elektrischen Strom durchflogen werden, BA ist die Magnetnadel, in welcher also A den Nordpol vorstellt, während in der vorhergehenden Figur, wo die Stromrichtung eine entgegengesetzte ist, die dunkel gezeichnete Hälfte der Nadel den Nordpol trägt. Wenn man nun weiterhin den Draht kreisförmig immer in derselben Richtung wickelt und innerhalb dieser Windungen eine Magnetnadel freischwebend aufhängt, so wird dieselbe, sobald ein Strom durch den Draht läuft, auch mit einer um so stärkeren Kraft abgelenkt werden, je größer die Zahl der Windungen ist. Nur müssen, damit der Strom auch wirklich seinen ganzen Weg zurücklegt, die Windungen des Drahtes voneinander isoliert sein, was durch Umspinnen mit Seide geschieht.

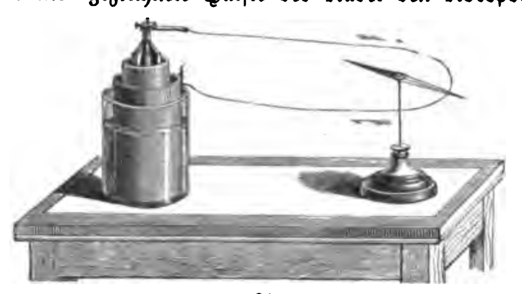


Fig. 386.
Ablenkung der Magnetnadel durch den galvanischen Strom.

Der Multiplikator. Schweigger hat daraufhin einen Apparat konstruiert, mit welchem man im stande ist, ungemein schwache Ströme nachzuweisen, gewissermaßen ein elektrisches Mikroskop, welches er nach seiner Wirkungsweise sehr treffend Multiplikator getauft hat. Der Schweiggersche Multiplikator ist vielleicht das bedeutsamste Instrument der neueren Physik; er ist nicht wie die Glaslinsen ein Mittel, einen unsrer Sinne behufs feinerer Beobachtung zu schärfen, sondern, indem er uns Äußerungen erkennen läßt, deren Krafturſache wir ohne weiteres mit unsern Sinnen nicht zu empfinden vermögen, vertritt er die Stelle eines völlig neuen Organs, welches mit einer Schärfe und Sicherheit uns seine Reaktionen übermittelt, daß weder Auge noch Ohr einen Vorsprung in dieser Beziehung behalten. Wir geben in Fig. 388 unsern Lesern eine Abbildung dieses wichtigen Instrumentes, dessen Einrichtung leicht verständlich werden wird.

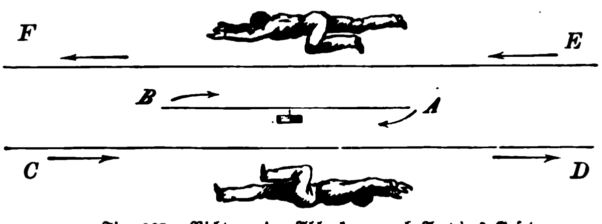


Fig. 387. Richtung der Ablenkung nach Ampères Gesetz.

Die Magnetnadel, die Zunge an dieser Wage, hängt an einem Kokonfaden von dem Deckel eines Glascylinders, welcher den ganzen Apparat der Einwirkung störender äußerer Einflüsse, Luftzug, Feuchtigkeit u. s. w., entrückt. Auf dem Boden desselben liegen die Drahtwindungen, deren Anfang und Ende durch den Boden hindurch nach außen gehen, um mit den Strom erzeugenden Körpern in Verbindung gesetzt werden zu können. Die Art und Weise der Windung sowie die Richtung des Stromes soll durch die kleinen Pfeile angedeutet werden; geht also der Strom rechts in den Multiplikator hinein, so tritt er links wieder aus. Die Magnetnadel besteht nun nicht aus einer einzigen Nadel, sondern aus einem Nadelpaar von möglichst gleicher Stärke, welches so miteinander fest verbunden ist, daß die entgegengesetzten Pole übereinander liegen. Die eine dieser Nadeln schwingt oberhalb der Spirale, die andre aber, von welcher wir nur die Spitze sehen, innerhalb derselben. Ist also beispielsweise das obere uns zugerichtete Ende der Nordpol, so ist das untere sichtbare die Südpolspitze. Diese Verbindung zweier entgegengerichteter Nadeln, ein sogenanntes astatisches Nadelpaar, bietet den großen Vorteil, daß es, obwohl vollständig magnetisch, doch nur soviel Bestreben hat, sich in der Richtung von Nord nach Süd einzustellen, als die richtende Kraft der einen Nadel die der andern überwiegt. Mit diesem

magnetischen Übergewicht sucht das Nadelpaar sich in seine Ruhelage Nord-Süd zurückzubegeben, wenn es daraus entfernt worden ist, wie jenes aber viel geringer ist als die Kraft jeder einzelnen Nadel für sich, so ist auch der Widerstand geringer, der sich einem Einflusse gegenüberstellt, welcher das Nadelpaar aus seiner Ruhelage herausbringen will. Es wird sich in dieser Beziehung ein viel schwächerer Einfluß schon wirksam zeigen, als es einer einzigen Nadel gegenüber der Fall sein könnte. Die Nadeln werden also von dem galvanischen Strom im Multiplikator äußerst leicht abgelenkt, und da die zwischen ihnen liegenden Multiplikatorwindungen der verschiedenen Polrichtung wegen auf beide Nadeln in gleichem Sinne ausschlaggebend sind, so wird dadurch die Ausweichung sogar verdoppelt.

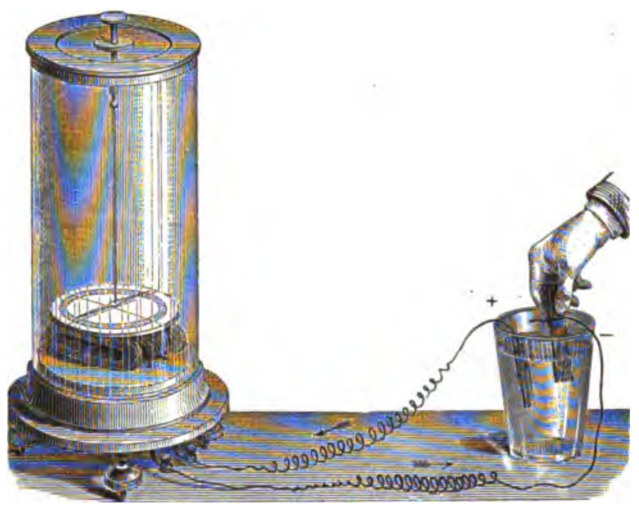


Fig. 388. Schweiggers Multiplikator.

Es ist begreiflich, daß man mit Hilfe eines Multiplikators von vielen tausend Windungen sehr schwache Ströme noch nachweisen kann, und in der That hat man damit erkannt, daß selbst bei den geringsten chemischen oder physikalischen Unterschieden sich berührender Körper elektrische Ströme entwickelt werden. Zwei Platinplatten, von denen die eine kurz vorher ausgeglüht worden ist, die andre nicht, bringen die Nadel zum Ausschlag. Ja, es bedarf nicht einmal metallischer Elektroden. Es ist die Gleichzeitigkeit von Muskel- und Nerventhätigkeit einerseits und galvanischer Ströme anderseits und in vielen Fällen das abhängige Verhältnis beider zu einander nachgewiesen worden. Die Diskussion der merkwürdigen physiologischen Wirkungen galvanischer Ströme hat eine völlig neue Wissenschaft hervorgerufen, welche namentlich durch Du Bois-Reymonds Forschungen ihren Schwesterwissenschaften ebenbürtig gemacht worden ist. Man hat ganz andre Anschauungen vom organischen Leben gewonnen, und die Medizin wird, wenn auch nicht im Sinne Goldbergers, des bekannten Rheumatismuskettenmannes, und einer großen Zahl ähnlicher Geldmacher, diese Erfahrungen segensreich in ihren Heilverfahren verwenden.

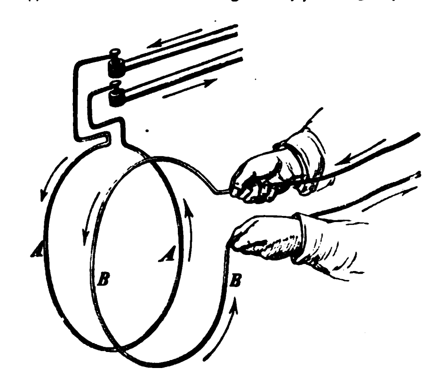


Fig. 389. Anziehung paralleler Kräfte.

Fragen wir uns aber: was ist die Ursache, daß die Magnetnadel durch den elektrischen Strom eine so merkwürdige Einwirkung erfährt, so können wir die Antwort aus einem andern Experimente lesen. Wenn wir nämlich einen quadratisch oder kreisförmig gebogenen Draht A A (Fig. 389) leichtbeweglich aufhängen, indem wir ihn in Spitzen endigen lassen, die auf dem Boden kleiner Quecksilbernäpfchen aufsitzen, und einen Strom durch diesen Draht gehen lassen, so dreht sich der letztere so lange in seinen Näpfchen, bis die Stromrichtung senkrecht auf der Richtung der Magnetnadel steht. Ein neuer Beweis, daß zwischen Magnetismus und elektrischen Strömen in der That die innigsten Beziehungen stattfinden müssen; denn wo der Strom stark genug ist, richtet er den Magnetismus, wo aber dieser selbst von unveränderlicher Richtung und stärker ist als der Reibungswiderstand des beweglichen Leiters, da übt der Magnetismus auf den Strom eine richtende Kraft aus.

Läßt man nun den Magnetismus außer Spiel und untersucht man die Einwirkung beweglicher Ströme aufeinander, nähert man beispielsweise dem ersten Drahte A A einen zweiten BB, welche beide von Strömen in der durch Pfeile angedeuteten Weise durchflossen werden, so kann man die Bemerkung machen, daß sich der bewegliche Draht A A parallel dem zweiten BB einstellt; die Teile, in denen der Strom eine abwärts gehende Richtung hat, nähern sich, ebenso diejenigen, wo der Strom aufsteigt. Bringt man sie umgekehrt einander gegenüber, so stoßen sich dieselben Teile ab. Der bewegliche Draht sucht sich so einzustellen, daß betreffs der Stromrichtung in seinen Teilen wieder Parallelismus mit der Stromrichtung in dem unbeweglichen festgehaltenen Drahte stattfindet.

Hier thut also der eine, festgehaltene Draht ganz dasselbe, was bei dem früher besprochenen Versuche der Magnetismus der Erde that, er übt eine Gewalt auf den vom Strome durchflossenen beweglichen Leiter aus; und anderseits verhält sich der bewegliche Leiter auch ebenso, wie sich die Magnetnadel dem festgehaltenen Drahte gegenüber verhielt, er richtete sich nach demselben.



Fig. 390. André Marie Ampère.

Es ist diese Wirkung nicht etwa von der chemischen Natur der beiden Drähte bedingt; man kann die allerverschiedensten Metalle dazu nehmen, das Verhalten bleibt dasselbe, es zeigt sich aber nur, wenn die Drähte von Strömen durchflossen werden. Die Ströme selbst also üben aufeinander jene merkwürdige Einwirkung aus, und zwar nach dem Gesetz, daß parallel laufende Ströme sich anziehen, entgegengesetzt laufende dagegen sich abstoßen. Dieses Gesetz ist das von Ampère aufgestellte elektromagnetische Fundamentalgesetz.

Ampère, dessen Name mit der Geschichte des Elektromagnetismus auf unvergängliche Weise verbunden ist, muß, obwohl die Zahl der Arbeiten, welche er der Wissenschaft geschenkt hat, eine verhältnismäßig geringe ist, trotzdem zu den bedeutendsten Physikern gerechnet werden, die je gelebt haben. Er ist zu Lyon am 22. Januar 1775 geboren. Sein Vater betrieb daselbst ein kaufmännisches Geschäft, welches er später aber aufgab, um ein kleines Landgut zu bewirtschaften. Der junge Ampère hatte hier eine methodische Vorbereitung für die Wissenschaft eigentlich nicht erlangt, verdankte vielmehr nur seinem eignen regen Bildungstriebe dasjenige, was er wußte, und was ihm seinen Lebensunterhalt als Lehrer der Mathematik gewähren mußte, als sein väterliches Vermögen durch die Revolution hinweggerafft worden war. Nachdem Ampère mehrere Jahre in Lyon durch Privatstunden sich erhalten hatte, siedelte er nach Bourg über, wo er an der Zentralschule die Professur der Mathematik erhielt; darauf wurde er zurück nach Lyon und endlich an die Polytechnische Schule nach Paris berufen. Er starb am 10. August 1836 auf einer Reise, die er als Generalinspektor der Universität unternommen hatte. Außer den schon erwähnten Arbeiten auf dem Gebiete der Elektrizität hat er einzelne Aufgaben der Mechanik sowie der Optik behandelt, auch rein mathematische Untersuchungen, wie über die Wahrscheinlichkeit, geliefert, die alle den Stempel der Klassizität tragen.

Elektromagnetismus. Magnetismus und elektrische Ströme lassen nach den Ampèreschen Versuchen eine Übereinstimmung ihres Verhaltens erkennen, welche auf eine Gleichartigkeit

der ihnen zu Grunde liegenden Kraft hinweist. Wir können die vollständige Identität beider nachweisen und durch das Experiment darthun, daß der Magnetismus nichts andres ist als eigenartig gerichtete elektrische Ströme. Denn gehen wir in unsern Versuchen einen Schritt weiter und hängen wir nicht einen nur einmal gebogenen Draht, wie AA in Fig. 389, leicht beweglich auf, sondern einen Draht von der in Fig. 391 dargestellten spiralförmigen Gestalt (ein sogenanntes Solenoid), so werden sich, wenn ein Strom hindurchgeht, alle einzelnen Kreiswindungen desselben senkrecht auf die Richtung der Magnetnadel aufstellen, die Längsrichtung der Spirale wird aber infolgedessen von Norden nach Süden zeigen, also mit der Richtung der Magnetnadel übereinstimmen, und ein solcherart von Strömen durchflossener Solenoid verhält sich auch in allen andern Kraftäußerungen ganz ebenso wie ein Magnet. Wir sind sonach in der Lage, für die merkwürdigen Erscheinungen, welche wir als magnetische bezeichnen, elektrische Ströme als Kraftursache annehmen zu können, und zwar elektrische Ströme, welche in dem magnetischen Körper dessen kleinste Teilchen alle in derselben Richtung umkreisen, so daß die einzelnen Molekularströme sich in ihrer Wirkung gegenseitig nicht aufheben, sondern vielmehr, sich addierend, eine erhebliche Gesamtwirkung hervorbringen. In welcher Richtung die kleinsten Teilchen eines Magneten von solchen elektrischen Kreisströmen umflossen werden müssen, das können wir erschließen, wenn wir uns statt ihrer die Windungen eines Solenoids in das Innere des Magneten versetzt denken. Stellen wir uns vor, daß wir mit dem Strome schwimmen, so liegt der Nordpol allemal zur Rechten, der Südpol zur Linken; in Fig. 391 würde a den ersteren, b den letzteren bedeuten; wenn wir also den Nordpol einer Kompaßnadel in a und den Südpol in b liegend denken, so gibt die Pfeilrichtung die Richtung an, in welcher die elektrischen Kreisströme die Stahlmoleküle der Magnetnadel umfließen.

Unterstützt wird die eben entwickelte Ansicht von der Natur des Magnetismus, wie gesagt, auch durch das sonstige Verhalten der Spirale, welches mit dem natürlicher Magnete übereinstimmt. Nicht nur daß sie Eisen anzieht, und zwar an ihren Polen mit bei weitem der größten Kraft, in der Mitte dagegen mit der geringsten, so erweckt sie auch in Eisen und Stahl den Magnetismus ebenso, als ob man dieselben mit kräftigen Magneten striche. Ein Eisenstab in eine von einem Strom durchlaufene isolierte Spirale gesteckt (s. Fig. 392), verstärkt die Wirkung derselben auf die Magnetnadel oder auf einen stromführenden beweglichen Leiter, wie A in Fig. 389, bedeutend. Der Eisen- oder Stahlstab wird selbst magnetisch, und zwar in der Weise, daß er an demselben Ende wie das Solenoid einen Nordpol, an dem andern einen Südpol erhält.

Weiches Eisen verliert diese magnetische Beschaffenheit sogleich wieder, wenn der Strom unterbrochen wird; bei Stahl dagegen hält der magnetische Zustand auch nach dem Aufhören des Stromes in der Spirale noch an, und es wird dies Verfahren daher jetzt allgemein angewandt, um kräftige Stahlmagnete zu erzeugen. Wichtiger aber als diese sind die weichen Eisenstücke, denen nur zeitweilig magnetische Kraft mitgeteilt wird, die sogenannten Elektromagnete; denn sie sind das Wesentliche der elektromagnetischen Apparate. Wir werden Gelegenheit haben, auf dieselben bei Betrachtung ihrer verschiedenen Anwendungen zurückzukommen; vor der Hand müssen wir aber noch einige Eigentümlichkeiten des elektrischen Stromes ins Auge fassen, welche zu jenen in inniger Beziehung stehen.

Faradismus. Der englische Physiker Faraday war es, welcher im Jahre 1832 die Entdeckung machte, daß ein elektrischer Strom in jedem kreisförmig geschlossenen Leiter, in dessen Nähe er vorbeigeht, ebenfalls elektrische Ströme hervorruft, eine Erscheinung, die man im engeren Sinne Induktion nennt (Faradismus). Diese Induktionsströme dauern immer nur einen Augenblick und finden bloß in dem Moment statt, wo die erregende Kette geöffnet oder geschlossen wird. Beim Öffnen hat der induzierte Strom eine dem Hauptstrome entgegengesetzte, beim Schließen aber eine demselben gleichlaufende Richtung. Eine gleiche Wirkung wie das Schließen oder Öffnen der Kette hat das plötzliche Nähern oder die Wiederentfernung eines stromführenden Drahtes. Je näher der zu induzierende Leiter dem Leitungsdrahte der Kette liegt, um so stärker ist die Wirkung. Die Apparate, in welchen man dieselbe zur Erzeugung von elektrischen Strömen ausnutzt, die sogenannten Induktionsapparate, können nun von verschiedener Einrichtung sein, je nachdem man den Leitungsdraht aus der Batterie unmittelbar neben den zu induzierenden Draht in parallelen Windungen

zu einer doppelten Spirale anordnet oder indem man jeden für sich aufwickelt und zwei gesonderte Spiralen herstellt. Im ersteren Falle kann nur das Eintreten und das Unterbrechen des Stromes Ströme erzeugen, in letzerem Falle können dieselben auch noch bei einem konstanten Strome durch Nähern oder Entfernen der Induktionsspirale hervorgerufen beziehentlich verstärkt oder abgeschwächt werden. Die Betrachtung von Fig. 393 wird das Gesagte deutlich machen. Die Spirale H ist mit dem Multiplikator G durch ihre beiden Drahtenden bei A und A' verbunden, also geschlossen, wenn bei A oder A' keine Unterbrechung stattfindet. Über dieselbe läßt sich eine zweite in demselben Sinne gewickelte Spirale H' hinwegschieben, deren Enden bei B und B' mit den Polen einer Batterie in Verbindung gesetzt werden können. Läuft nun durch die Spirale H' ein Strom, so kann man durch Aufftülpen derselben über die Spirale H in dieser einen gegengerichteten, durch Wiederentfernen einen gleichgerichteten Induktionsstrom hervorrufen, dessen Entstehen und Richtung durch den Ausschlag der Magnetnadel in G angezeigt wird. Ebenso kann man, wenn die Spirale H' über H gestülpt ist, durch Schließen oder Öffnen der Kette bei B oder B' dieselben Ströme induzieren.

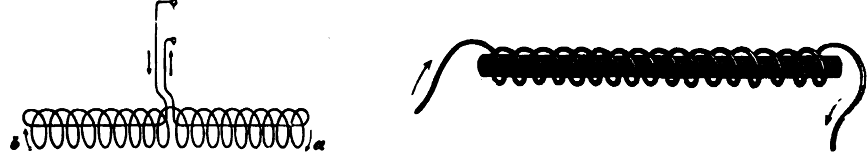


Fig. 391. Solenoid. Fig. 392. Entstehung des Elektromagnetismus.

Man kann es nun leicht einrichten, daß der Strom der erregenden Batterie mit beliebig großer Raschheit sich selbst öffnet und wieder schließt, und Induktionsströme in denselben Zwischenräumen, je ein entgegen- und ein gleichgerichteter, sich folgen, und es sind die Apparate, welche für ärztliche Zwecke konstruiert werden, mit sehr sinnreichen Vorrichtungen versehen, um die Ströme sowohl in wechselnder Richtung zu verwenden, als auch sie sämtlich in demselben Sinne fließen zu machen. Die so erregte Elektrizität zeigt alle Wirkungen der durch Galvanismus erzeugten Ströme, zeichnet sich aber besonders noch durch eine größere Spannung aus und ähnelt darin mehr der Reibungselektrizität, springt auch infolgedessen, wie diese, leicht in längeren Funken über, während der galvanische Strom nur auf sehr kurze Entfernungen von einem Drahtende in das andre überfließen kann.

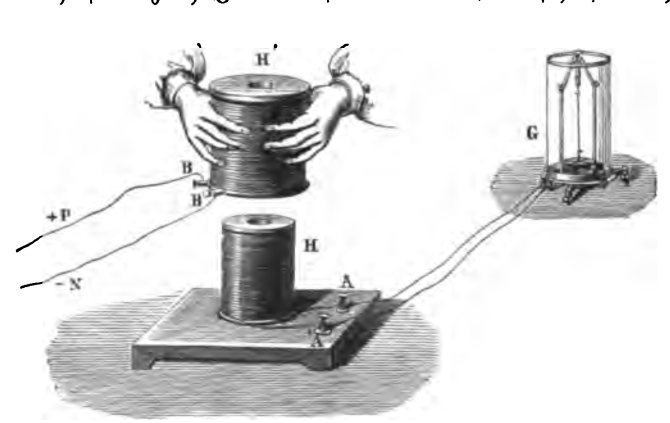


Fig. 393. Induzierte Ströme.

Ob ein Strom in die neben der Induktionsspirale aufgewickelte Hauptspirale eintritt oder ob die von einem stetigen Strom durchflossene Hauptspirale der Induktionsrolle genähert wird, das bleibt sich im Effekte ganz gleich. Ebenso ist es gleichbedeutend, ob der Strom unterbrochen oder plötzlich entfernt wird.

Ganz dieselben Induktionserscheinungen erfolgen auch, wenn man einem geschlossenen Drahte rasch einen kräftigen Magnet nähert und ihn wieder entfernt. Bei der Annäherung entsteht ein kurzer induzierter Strom in einer Richtung bei der Entfernung ein andrer in entgegengesetzter Richtung.

Wir sehen also, daß auch hier Elektrizität und Magnetismus sich gegenseitig vertreten: ein Magnet bewirkt dasselbe wie eine Batterie. Wie man den durch einen Strom

hervorgerufenen Magnetismus Elektromagnetismus nannte, so nennt man die durch den Magnet erzeugten Ströme Magnetoelektrizität.

Wir haben also hier zwei verschiedene Fälle vor uns. In dem einen erzeugen wir Elektrizität, und zwar in beliebiger Menge mit Hilfe eines vorhandenen Quantums Magnetismus; in dem andern rufen wir Magnetismus hervor. Der merkwürdigere Fall ist jedenfalls der erstere, bei welchem die neue Kraftmodalität, der elektrische Strom, mit einem verhältnismäßig ganz geringen Vorrat von Magnetismus in unerschöpflicher Weise hervorgebracht werden kann, ohne daß auch nur die geringste Abnahme von jenem Vorrat zu bemerken wäre. Hier wird demnach nicht etwa Magnetismus in Elektrizität verwandelt, umgesetzt, sondern es dient jener lediglich als Vermittler, als Anreger; dasjenige, woraus in der That die Elektrizität entsteht, ist die mechanische Kraft, welche zur Annäherung des geschlossenen Leiters an den Magneten und zur Losreißung von demselben verbraucht wird — eine Bethätigung des Mayerschen Gesetzes von der Wechselwirkung der Naturkräfte, welche auch zu einem absoluten mathematischen Ausdruck gebracht worden ist und damit der Berechnung unterworfen werden kann.

Selbstverständlich erscheint es uns ferner jetzt schon, daß wir Elektrizität auch wieder in mechanische Kraft umsetzen können durch die anziehende Wirkung, welche von Strömen durchflossene Leiter aufeinander oder, was dasselbe ist, auf Magnete ausüben, und daß wir, wenn keine Verluste durch äußerliche Einflüsse stattfänden, dieselbe Größe der mechanischen Kraftleistung durch ein bestimmtes Elektrizitätsquantum wieder erlangen müßten, welche zur Erzeugung jener Elektrizität aufgewendet worden ist.

Diese drei verschiedenen Richtungen, in denen die Umwandlung der Kräfte stattfinden kann, sind nun für die Wissenschaft nicht nur von hohem Interesse, sie haben ein solches auch für das praktische Leben erlangt, und es ist eine Anzahl von äußerst wichtigen Apparaten und Maschinen erfunden worden, von denen wir die hauptsächlichsten einer freilich nur kurzen Besprechung unterwerfen wollen.

Wir haben also in Berücksichtigung zu ziehen

Vorrichtungen für Erzeugung von Elektrizität aus mechanischer Kraft,

Vorrichtungen für Erzeugung von Magnetismus durch Elektrizität,

Vorrichtungen für Erzeugung von mechanischer Kraft aus Elektrizität.

Jede dieser drei Klassen hat ihre besondere Wichtigkeit, und zwar sind die erste und die dritte von hervorragend wirtschaftlicher Bedeutung als elementare Kraftumwandlungswechsel, während die zweite ihr Hauptgewicht in der Verwertung der Leitbarkeit der Elektrizität hat und die wunderbaren Einrichtungen für Zeichengebung oder Auslösung in die Ferne (Telegraphenapparate, Telephon, Phonograph u. s. w.) umfaßt, denen wir später an besonderer Stelle unsre Aufmerksamkeit zuwenden werden.

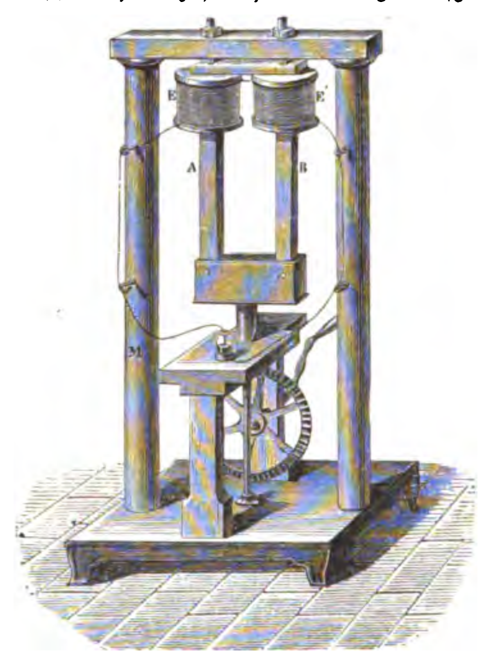
Hier beschäftigen uns zunächst die Vorrichtungen zur Erzeugung von Elektrizität aus mechanischer Kraft, diejenigen Induktionsmaschinen, durch welche elektrische Ströme mittels der Einwirkung von Magnetismus nur hervorgerufen werden, also die magnetoelektrischen Apparate. Dieselben haben seit ihrem ersten Auftauchen vielfache Abänderungen erfahren und in dem letzten Jahrzehnt eine Ausbildung erlangt, welche eine ganz neue Ära der Elektrizität hervorgerufen hat, indem durch sie die Erzeugung von Elektrizität unabhängig von den galvanischen Batterien und Säulen gemacht worden ist.

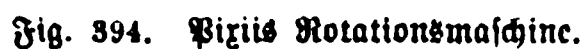
Rotationsapparate. Die ältesten Apparate dieser Art waren die Rotationsapparate, so genannt, weil bei ihnen durch rasche Umdrehung entweder der Induktionsspirale vor den Polen eines Magneten vorbei oder des Magneten vor der feststehenden Induktionsspirale in dieser letzteren die Ströme durch das wechselnde Annähern und Entfernen der Pole erregt wurden.

Die erste, 1832 von Pixii konstruierte Form ist in Fig. 394 abgebildet. A und B sind die Magnete, die so miteinander verbunden sind, daß ihre entgegengesetzten Pole den Spiralen E und E', welche im Innern weiche Eisenkerne enthalten, gegenüberstehen und also in der Art wie die beiden Schenkel eines einzigen Hufeisenmagneten wirken. Bei der Drehung der unterhalb angebrachten Kurbel wechselt der Magnet seine Lage vor den Spiralen, und es werden in denselben Ströme erzeugt, welche, durch Drähte nach dem kleinen

Quecksilbergefäß geleitet, sich in überspringenden Funken zu erkennen geben, wenn der eine dieser Drähte in das Quecksilber selbst, der andre bis nahe an dessen Oberfläche geführt wird.

Später hat Stöhrer in Leipzig die Rotationsapparate bedeutend verbessert; Fig. 395 zeigt eine der ersten von ihm herrührenden Konstruktionen. An derselben bemerken wir, außer der Kurbel, als ersten wesentlichen Teil einen starken, aus mehreren Lamellen bestehenden Hufeisenmagnet, der auf seiner Unterlage festgemacht ist und zwischen dessen beiden Schenkeln sich die Säule erhebt, welche die Kurbel trägt. Vor den beiden Polen des Magneten liegt der durch die Umdrehung der Kurbel rotierende Teil; seine Spindel reicht zwischen die Schenkel des Magneten hinein, wo sie von der Laufschnur des Rades umfaßt wird. Auf der Spindel sitzt vorn ein Querstück von weichem Eisen und an diesem die ebenfalls eisernen, den Magnetpolen zugekehrten Cylinder B B, auf welchen übersponnener Kupferdraht in zahlreichen Windungen aufgewickelt ist.




Fig. 394. Pixiis Rotationsmaschine.

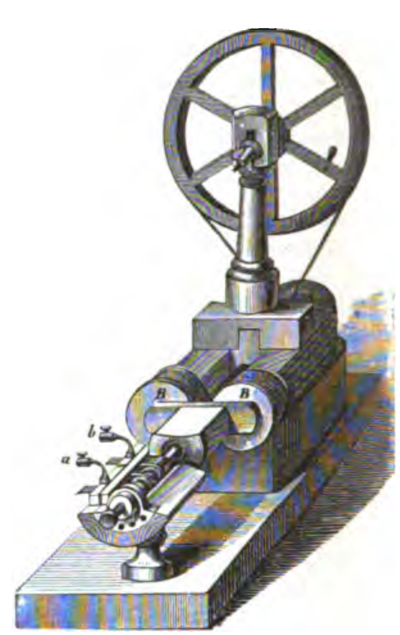


Fig. 395. Stöhrerscher Rotationsapparat.

Halten wir nun unsern Satz fest, daß in einem geschlossenen Drahtgewinde ein ganz kurzer Strom erregt wird, wenn man dem Drahte einen starken Magnet nähert, und ein gegenläufiger ebenso kurzer Strom, wenn man ihn wieder entfernt, so wird uns die Arbeit der Maschine leicht verständlich werden. Die eiserne Vorlage und die Eisenkerne (Cylinder) sind nämlich in der gezeichneten Stellung durch die Wirkung des Magneten selbst zu Magneten geworden und bleiben dies so lange, als sie der anziehenden Wirkung des Hauptmagneten ausgesetzt, d. h. als sie sich in der Lage vor dessen Polen befinden, die sie in der Zeichnung einnehmen. Wird aber die Spindel gedreht, so ändern sich die Verhältnisse; nach einer Vierteldrehung werden die Rollen B B mit ihren Eisenkernen senkrecht übereinander liegen und von den beiden Polen am weitesten entfernt stehen; auf diesem Wege ist aber schon ihr Magnetismus verschwunden, und die Wirkung dieses Verschwindens auf die Kupferdrähte wird genau die nämliche sein, als hätte man die Eisenkerne ganz aus den Spiralen herausgezogen, d. h. den Magnet von der Spirale entfernt. Durch das zweite Viertel der Umdrehung kommen die Cylinder den Magnetpolen wieder gegenüber zu liegen; sie werden wieder zu einem Magnet, wiewohl jetzt mit verwechselten Polen, und in den Drähten muß sich aufs neue ein kurzer, diesmal gegenläufiger Strom zeigen, gleich als hätte man einen Magnet rasch in die Spiralen hineingeschoben. Jeder Umgang der Welle erzeugt also eine vierfache Erregung gegenläufiger Ströme. Wo es wünschenswert ist, den

induzierten Strömen einerlei Richtung zu geben, geschieht dies durch einen kleinen, am vordersten Teile der Spindel angebrachten Apparat, den Kommutator, welcher zwar alle Ströme aufnimmt, aber aus zwei Hälften besteht, die abwechselnd funktionieren, so daß in jeden der beiden bei a und b einmündenden Leitungsdrähte nur immer die gleichgerichteten Ströme übergeführt werden. Die entgegengesetzt gerichteten Ströme kann man in gewisser Beziehung mit positiver und negativer Elektrizität vergleichen.

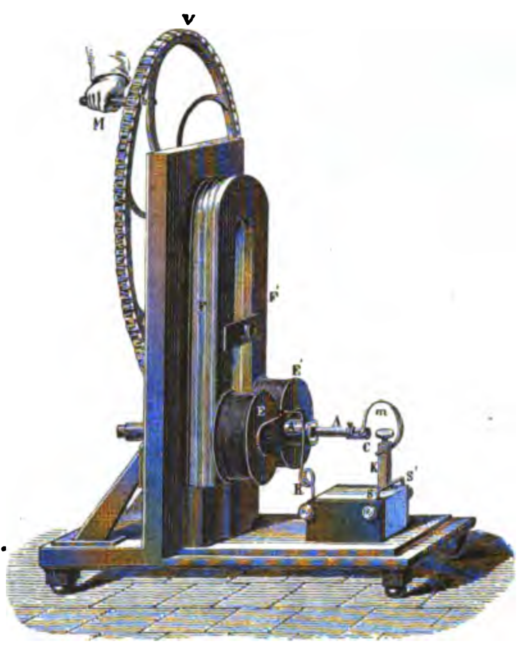


Fig. 396. Rotationsmaschine von Clark.

Physiologische Wirkungen. Man macht von solchen Rotationsapparaten besonders in der Heilkunde Anwendung und hat es durch Stellung des Kommutators in seiner Gewalt, den Strom in einer Richtung oder abwechselnd bald in der einen, bald in der andern durch den Körper gehen zu lassen. Die in dem letzteren Falle eintretenden Nervenreizungen sind natürlich viel gewaltsamer durch die plötzlichen, rasch sich folgenden Umkehrungen und sie können bei sehr kleinen Apparaten schon ganz unerträglich werden, wenn man die Geschwindigkeit beträchtlich steigert. Größere Apparate wirken so heftig, daß die Muskeln des ganzen Körpers in eine krampfhafte Kontraktion geraten und die freie Beweglichkeit vollständig verloren gehen kann. Man hat daher, zuerst Stöhrer in Leipzig, für den Walfischfang große Rotationsapparate konstruiert und mit Erfolg benutzt. Der eine der beiden Leitungsdrähte wird in das Seil der Harpune geflochten, der andre dagegen ins Wasser geworfen. Der Strom geht auf diese Weise durch den Körper des getroffenen Walfisches, und ein einziger Mann ist im stande, durch Drehung des Apparates die gewaltsamen Bewegungen des Tieres in einen regungslosen Starrkrampf zu verwandeln, während dessen es mit Ruhe vollends getötet werden kann.

Der Apparat ist in der Weise eingerichtet, daß sich vor einer Anzahl im Kreise angeordneter starker Magnete ein Kranz von Induktionsrollen vorbeibewegt. Da ebensoviel Rollen nebeneinander stehen, als Magnetpole in der Batterie vorhanden sind, so wächst die Anzahl der bei jeder Umdrehung induzierten Ströme mit dem Quadrate der Polzahl.

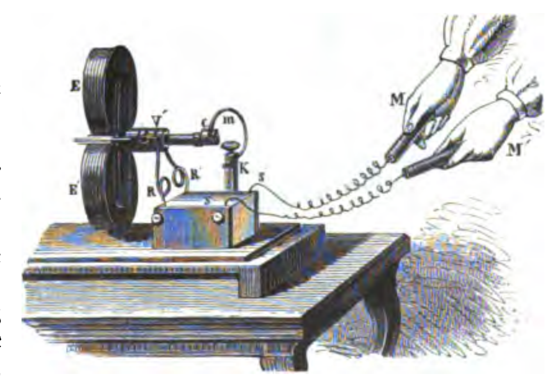


Fig. 397. Kommutator an dem Clarkschen Rotationsapparat.

Eine andre Art der Einrichtung eines Rotationsapparates stellt uns die Clarksche Maschine (s. Fig. 396) dar. Bei derselben hat der Magnet F F' eine senkrechte Stellung; nahe seinen Polen liegen, wie bei dem Stöhrerschen Apparat, die beiden Spiralen E E' mit ihren Eisenkernen an der Spindel A A', welche durch die Kurbel M in Umdrehung versetzt wird. Die beiden Stücke A und A' stehen zwar mit der Spirale E und den Leitungsdrähten R und m in leitender Verbindung, sind unter sich jedoch isoliert; durch diese besondere Einrichtung, von der Fig. 397 noch eine Abbildung für sich gibt, ist die Kommutation der Ströme in

der verschiedensten Art ermöglicht. Man kann die Ströme in derselben Richtung durch den Körper gehen lassen, wenn man die Handhaben MM' einschaltet, oder in abwechselnder Richtung; oder man kann auch den sogenannten direkten oder primären Strom, der von der Einwirkung der Magnete herrührt, oder nur den sekundären, der bei der Unterbrechung des direkten Stromes in den Spiralen entsteht, benutzen, indem man die Leitung in verschiedener Weise kombiniert. Eine derartige Kommutation erlaubt übrigens auch der Stöhrersche Apparat, und gab Stöhrer dieselbe zuerst an.

Es ist selbstverständlich, daß man mit dergleichen Apparaten auch alle nur möglichen physikalischen Elektrizitätserscheinungen hervorzubringen vermag. Unter diesen ist es namentlich die Lichtentwickelung, die Telegraphie, sowie auch das Verfahren der Galvanoplastik, welche somit durch die mechanische Kraft, die das Drehen der Induktionsrolle verlangt, auf billigere Weise bewirkt werden können, als durch die immerhin kostspieligen galvanischen Batterien.

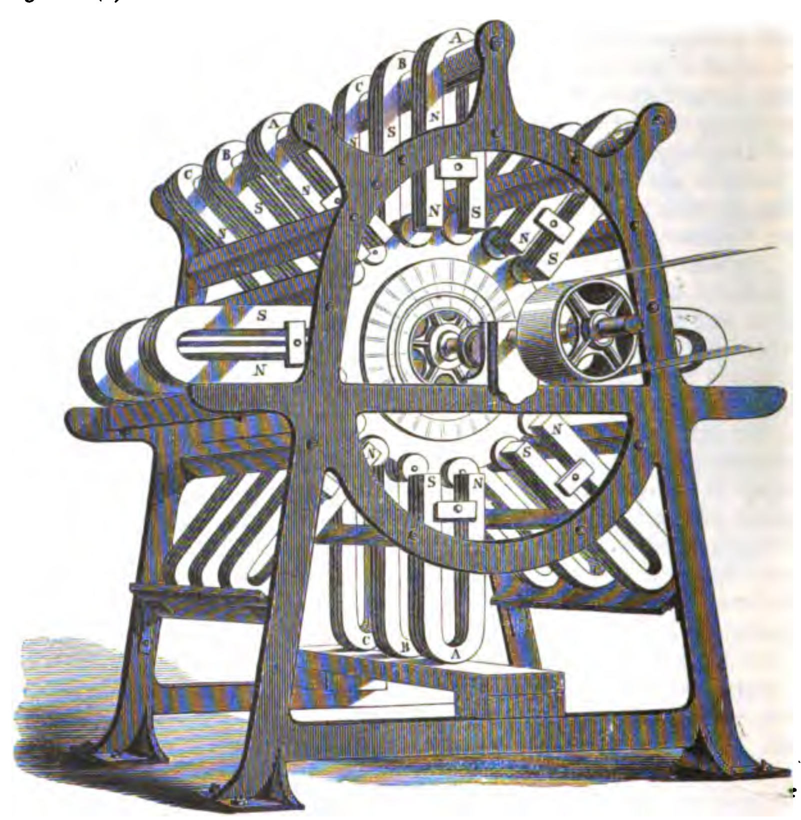


Fig. 398. Rotationsapparat zum Zweck elektrischer Beleuchtung.

Diese erweiterte Anwendung größerer Rotationsapparate hat auch auf ihre Herstellung Einfluß gehabt. Eine Pariser Gesellschaft L'Alliance hat einen Apparat bauen lassen, der aus 40 kombinierten Apparaten besteht und an dem die Achse mit ihren 164 Induktionsspiralen durch eine Dampfmaschine von zwei Pferdekraft in der Minute 373mal umgedreht wurde. Jede Spirale ging bei einer Umdrehung an 16 Magneten vorüber, und es entstanden also in ihr bei jeder Umdrehung über 10 000 elektrische Ströme, von denen die eine Hälfte der andern entgegengesetzt gerichtet ist. Unsre Abbildung Fig. 398 stellt einen kleineren Apparat von nur 24 Magneten dar (jeder aus mehreren Lamellen bestehend), die immer zu dreien auf einer Leiste rittlings befestigt sind. Zwischen je zweien dieser Magnete bewegt sich an der Drehachse eine messingene Scheibe, welche die Induktionsrollen trägt.

Um die Wirkung der Magnete in gleichem Sinne geschehen zu lassen, sind diese so gestellt, daß die gegenüberstehenden Pole, welche die Rolle gleichzeitig passiert, einander entgegengesetzte sind. Die auf den Hufeisen angebrachten Buchstaben N und S (Nord und Süd) zeigen dies an. — Eine andre sehr kompendiöse Konstruktion führte **Holmes** in England aus, hauptsächlich für Beleuchtungszwecke. Bei aller Wirksamkeit blieben diese Vorrichtungen aber immer noch ziemlich kostspielig: für einen Apparat von 48 Magneten (aus je sechs Lamellen bestehend) und 160 Spiralen beträgt der Preis gegen 800 Pfund Sterling, so daß nur für Leuchttürme dergleichen Lichtquellen Verwendung finden konnten.

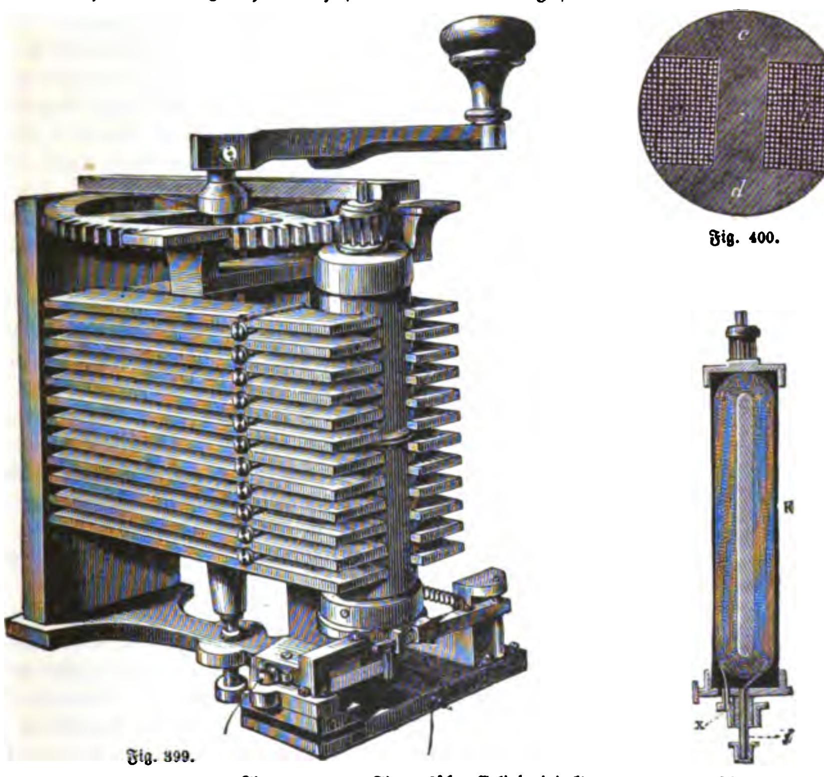


Fig. 399. Fig. 400. Fig. 401.

Fig. 399—401. Siemensscher Cylinderinduktor.

Magnetische Kraftlinien. Der Grund davon lag in der unvollkommenen Ausnutzung des sogenannten *magnetischen Feldes*, der Wirkungssphäre des Magneten, welche die Induktionsspirale bei der Umdrehung durchschneidet, und welche in ihrer Beschaffenheit durch die gegenseitige Lage der Magnetpole bedingt ist. Man kann von dieser Wirkungssphäre annähernde relative Bilder darstellen, wenn man in ihr, also z. B. nahe über dem oder den Polen ein Blatt Papier horizontal ausspannt nnd mittels eines feinen Siebes Eisenfeilspäne aus geringer Höhe auf dasselbe herabstreut. Infolge der magnetischen Anziehung, welche durch das Papier hindurch ihre Wirkung äußert, gruppieren sich diese metallischen Partikelchen, indem sie ein System von regelrecht laufenden Linien bilden, welches in seiner Anordnung gewissermaßen die Richtung der in jedem einzelnen Punkte dieser Durchschnittsebene herrschenden magnetischen Mittelkraft versinnbildlicht. Je nachdem solche Bilder über einem Pole allein oder über beiden aufeinander einwirkenden aufgenommen werden, ist natürlich Lage und Richtung der genannten Linien, der *magnetischen Kraftlinien*, verschieden. Je näher dem Pole, um so gedrängter treten dieselben auf, während sie sich nach außen mehr und mehr vereinzeln und um so mehr von ihrer Richtung abweichen, je einflußreicher der zweite Pol mit ins Spiel tritt.

Für die Induktionswirkung eines Magneten auf einen bewegten geschlossenen Leiter gilt nun der Satz, daß jene um so kräftiger ist, je rascher der Leiter sich bewegt, je größer

die Zahl der bei der Bewegung des Leiters von diesem durchschnittenen Linien ist und je mehr sich der Winkel, unter welchem die Ebene des Leiters gegen jene Linien bewegt wird, einem rechten nähert.

Siemens' Cylinderinduktor. Nach diesem Gesetz konnten die ersten magnetoelektrischen Maschinen nur geringe Nutzeffekte geben. Aus der richtigen Erkenntnis der in Betracht kommenden Verhältnisse aber ging der von Dr. Werner Siemens konstruierte Cylinderinduktor hervor, mit dem dann ganz andre Resultate erreicht wurden. Von dieser Maschine geben uns Fig. 399—401 erläuternde Ansichten. Die parallel übereinander angeordneten Platten stellen die Stahlmagnete dar, deren einander ziemlich nahestehende Polenden einen kreisförmigen Ausschnitt erhalten haben, innerhalb dessen die Induktionsrolle, welche die Form eines aufrecht stehenden Cylinders hat, sich mit möglichst wenig Spielraum dreht. Die Einrichtung dieser Induktionsrolle (des Ankers oder der Armatur) ist einmal durch einen Querschnitt Fig. 400 und dann durch einen in kleinerem Maßstabe ausgeführten Vertikaldurchschnitt Fig. 401 erläutert. Danach besteht dieser Teil aus einem massiven Eisencylinder, aus welchem zwei einander gegenüberliegende tiefe und breite Nuten a b Fig. 400 ausgearbeitet sind, so daß der Eisenkern c d ungefähr die Form eines doppelten T angenommen hat. Über den langen inneren Schenkel hinweg ist dann ein übersponnener Kupferdraht so gewickelt, daß derselbe die Nuten vollständig ausfüllt und mit dem Eisenkern zusammen äußerlich eine gleichmäßige Cylinderoberfläche darstellt. Oben und unten ist das Ganze von starken isolierten Metallbüchsen eingeschlossen. Die beiden Enden der Induktionsspirale stehen, das eine mit der drehbaren Achse, das andre mit einem isolierten Kupferringe x (Fig. 401) in Verbindung, und die in der Spirale bei deren Umdrehung erzeugten Ströme werden durch metallene Enden, welche auf diesen Teilen schleifen, abgeleitet. Die Erfindung dieser Maschine rührt schon aus dem Jahre 1859 her; 1866 setzte Wilde an Stelle der Stahlmagnete einen großen Electromagnet, den er durch Ströme hervorrief, welche mittels eines kleinen Stahlmagneten ebenfalls auf die angegebene Weise erzeugt wurden. Zur Umdrehung der beiden Cylinderarmaturen, von denen die größte nun sehr kräftige Nutzströme lieferte, diente eine Dampfmaschine.

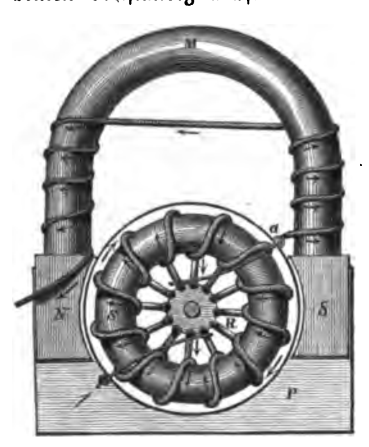


Fig. 402. Schema der Pacinottischen Ringmaschine nach Pfaundler.

Mehrere Jahre vor dieser Zeit (bereits im Jahre 1860) war aber von Dr. Antonio Pacinotti in Florenz eine äußerst wichtige Erfindung gemacht worden, die bei ihrem Auftreten freilich nicht diejenige Wertschätzung fand, welche sie verdiente, die aber dennoch berufen war, der magnetoelektrischen Maschine eine neue Ära zu eröffnen. Pacinotti hatte in der richtigen Deutung des magnetischen Feldes gefunden, daß die stärkste elektromotorische Kraft, die größte Stromstärke, in einem geschlossenen bewegten Leiter hervorgerufen werden müsse, wenn zwei Magnete mit ihren gleichnamigen Polen so aneinander gelegt werden, daß dadurch ein Ring gebildet wird und der geschlossene lange Leiter, die Induktionsspirale, über diesen Ring von einem Pole zum andern immer derselben Richtung und mit möglichst großer Geschwindigkeit bewegt werde. Der Strom, der sich in jeder Windung der Spirale bildet, behält dann dieselbe Richtung, und es ist nur nötig, jede Windung entsprechend abzuleiten, was dadurch geschehen kann, daß von jeder Windung an dem der Achse zunächst gelegenen Punkte ein Kupferdraht nach der Achse geführt wird, der rechtwinkelig umgebogen und isoliert auf die Achse sich auflegt. Auf diesen Fortsätzen der Spiralen schleifen, gegenüber den indifferenten Punkten der beiden halbkreisförmigen Magnete, also gegenüber deren Mitten, die metallenen Ableitungsfedern für den Strom, welche wieder unter sich leitend verbunden sein müssen. Mittels der Abbildung Fig. 402 läßt der Vorgang sich verfolgen.

Die innere runde Scheibe stellt den drehbaren Teil, die Achse mit der Spirale, dar. Innerhalb dieser letzteren befinden sich die beiden halbkreisförmigen Magnete, welche mit ihren Nordpolen bei n, mit ihren Südpolen bei s zusammenstoßen, also ebenso gut einen

zusammenhängenden Ring bilden können, der an den betreffenden Punkten seinen N-, beziehentlich seinen S-Pol hat. Diese Lage der Pole muß natürlich unveränderlich fest bleiben, wir müssen also annehmen, daß der Magnet **nicht** an der Drehung der Spirale teilnimmt. Die kleinen Pfeile geben die Richtung des Stromes an, der sich aus lauter einzelnen ineinander verfließenden gleichgerichteten Teilströmen zusammensetzt.

Die Pacinottische Ringmaschine. Nun besteht aber für die Ausführung eine große Schwierigkeit darin, den ringförmigen Magneten festzuhalten, während die geschlossene Spirale sich um ihn herum bewegen soll. Pacinotti hat diese Schwierigkeit auf sehr sinnreiche Weise dadurch umgangen, daß er in die Spirale nicht einen Magneten legte, sondern einen Ring von weichem Eisen, dessen Pole von außenher erregt werden, durch einen andern starken Magneten, welcher in unsrer Zeichnung hufeisenförmig darüber steht und bei N und S seine Pole hat. Durch die Einwirkung dieses äußeren Magneten wird nun an der Stelle des Ringes, die dem kräftigen Südpole S gegenüber liegt, ein Nordpol n erregt und umgekehrt dem Nordpole N gegenüber ein Südpol s. Jetzt kann sich der innere weiche Eisenring mitdrehen, seine Pollage bleibt trotzdem unveränderlich dieselbe.

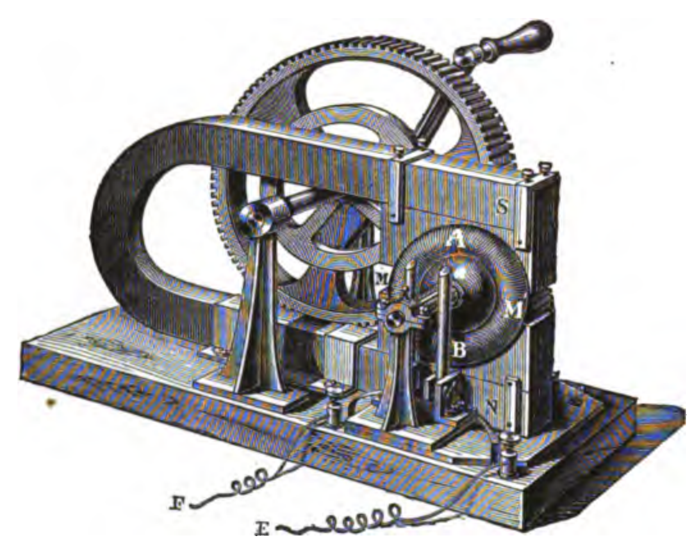


Fig. 403. Grammesche magnetoelektrische Ringmaschine für Handbetrieb.

Der äußere erregende Magnet ist zunächst als ein Stahlmagnet anzusehen, obwohl derselbe in unsrer Abbildung, welche zugleich eine spätere Anwendung illustrieren soll, von dem elektrischen Strome umflossen, dargestellt ist. Für jetzt also muß diese letztgedachte Stromführung noch als nicht vorhanden außer acht gelassen werden.

Maschinen von Gramme und v. Hefner-Alteneck. Merkwürdigerweise wurde diese höchst geistreiche Erfindung des Florentiner Physikers für die Praxis zunächst gar nicht beachtet, so daß als Gramme in Paris (Patentgesuch vom 22. Nov. 1869) mit einer magnetoelektrischen Maschine auftrat, die genau nach denselben Prinzipien konstruiert war, diese als etwas ganz Neues Aufsehen machen konnte. Es mag wohl sein, daß auch Gramme von seinem Vorgänger nichts gewußt und auf seine Erfindung unabhängig von jenem gekommen ist, indessen muß der Ruhm der Priorität doch dem italienischen Forscher gewahrt bleiben. Die Grammesche Maschine ist in der Art, wie sie von ihrem Erfinder ausgeführt worden, in den Figuren 403 und 404 zur Darstellung gebracht. Sie erklärt sich durch sich selbst. Der aus einzelnen weichen Eisendrahtringen gebildete innere Ring (Flachring) A B hat an den Stellen M und M' seine indifferenten Punkte; diesen gegenüber findet von der Achse her die Ableitung statt durch die aufrecht stehenden Federn oder Leitungsbürsten, welche in Klemmschrauben endigen und von hier aus den Strom durch eingespannte Drähte E F weiter leiten.

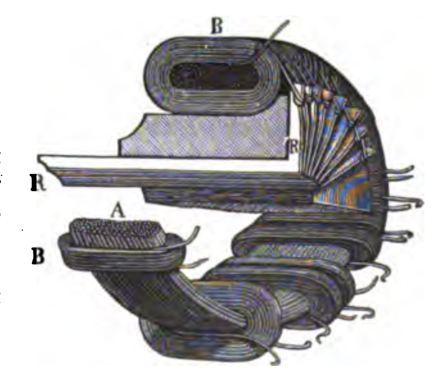


Fig. 404. Ring der Grammeschen Maschine durchschnitten.

Nach Gramme erschien 1874 von Hefner-Alteneck (Siemens & Halske) mit einer ebenfalls auf den Pacinottischen Ring sich stützenden Maschine. Anstatt des Ringes verwendete derselbe aber einen Cylinder, der auf seiner Oberfläche parallel der Achse mit dem isolierten Drahte umwunden ist. Dadurch erlangt die äußere Gestalt der Maschine ein andres Ansehen, wie Fig. 405 zeigt. Die mit den gleichnamigen Polen aneinander stoßenden Magnete haben eine dreieckige Form und sind mit einander durch bogenförmige Eisenstücke verbunden.

Alle die Apparate, welche wir bisher besprochen haben, bedurften aber noch zur Stromerweckung beständiger Stahlmagnete. Der nächste große Schritt zur Vervollkommnung war nun derjenige, durch welchen man von jenen die Leistungsfähigkeit sehr beschränkenden Bestandteilen unabhängig gemacht wurde.

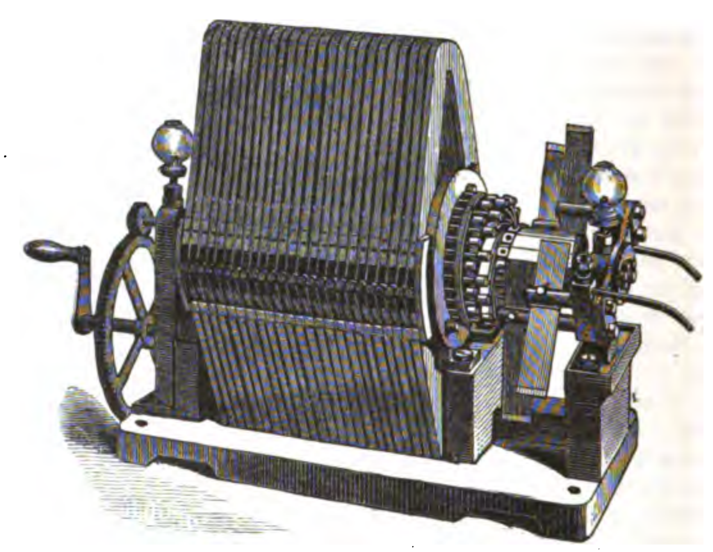


Fig. 405. Magnetoelektrische Maschine von v. Hefner-Alteneck.

Siemens' elektrodynamisches Prinzip. Werner Siemens hatte schon 1866 die Entdeckung gemacht, daß man mit einem sehr geringen Quantum Magnetismus, wie ein solches in jedem Elektromagnet nach Aufhören des Stromes zurückbleibt (remanenter Magnetismus), in den erregenden Magneten das Maximum von Magnetismus, dessen sie überhaupt fähig sind, wieder erwecken kann, wenn man dieselben mit Drahtwindungen umwickelt, welche mit den Spiralen des rotierenden Ankers in Verbindung stehen. Durch den remanenten Magnetismus werden nämlich zunächst Ströme in der Spirale des Ankers induziert, dieselben sind zwar äußerst schwach nur, nichtsdestoweniger verstärken sie dadurch, daß sie in die den Magnet umgebende Spirale treten, dessen ursprünglichen Magnetismus. Diese Vermehrung der magnetischen Kraft bewirkt ihrerseits sofort wieder eine Verstärkung im Strome der Ankerspirale, welche in gleicher Weise wieder ein Plus von Magnetismus in dem Magneten erweckt, und so steigert sich in kürzester Zeit durch gegenseitige Einwirkung die Kraft der Ströme sowohl als die des Magneten, bis die Grenze der Kapazität (Fassungskraft) für den letzteren erreicht ist. Es liegt aber die Sättigungsgrenze für einen Elektromagneten weit über den Punkt hinaus, welchen man mittels eines Stahlmagneten erreichen kann, jener ist ungleich wirksamer. Auf diese Weise wird also mittels eines ganz verschwindend kleinen Vorrats an Magnetismus, den hervorzurufen schon die Einwirkung des Erdmagnetismus genügt, lediglich durch Aufwand von mechanischer Arbeit Elektrizität erzeugt, und das ist das Wesen des elektrodynamischen Prinzips, welches, wie schon erwähnt, Werner Siemens und beinahe gleichzeitig mit ihm der englische Physiker Wheatstone entdeckte.

Man kannte dasselbe schon mehrere Jahre, ohne davon für die Konstruktion der elektrischen Maschinen einen erheblich nutzbaren Gebrauch machen zu können, dank der Vergessenheit, in welche die Pacinottische Erfindung geraten war. Denn wie die Maschinen,

auf welche Siemens, Wheatstone und Ladd in London dasselbe anwandten, waren noch Wechselstrommaschinen, bei denen ein besonderer Übelstand darin sich bemerklich machte, daß durch den raschen und kräftigen Polwechsel sich die Drähte bedeutend erhitzten; sie mußten deshalb immer mit Wasser abgekühlt werden und büßten infolgedessen viel an Kraft wieder ein.

Als aber Gramme nach dem Prinzip des Pacinottischen Ringes die erste wirkliche magnetoelektrische Maschine mit konstantem Strome ausgeführt hatte, da erwies sich die enorme Bedeutung des dynamoelektrischen Prinzips sehr bald. Hier ist nun der Punkt, wo wir wieder auf unser Schema der Pacinottimaschine (Fig. 402) zurückkommen, indem wir jetzt erst die dort den Hufeisenmagneten umkreisende und mit der Drahtleitung des Ankers in Verbindung stehende Spirale in Wirksamkeit uns gesetzt denken. Das Hufeisen braucht kein Stahlmagnet mehr zu sein, es kann aus weichem Eisen bestehen, da dasselbe mit Hilfe der umfließenden Ströme nach dem elektrodynamischen Prinzip zu einem sich rasch auf seine volle Kapazität steigernden Elektromagneten wird. Und damit haben wir nun auch in dem Schema Fig. 402 das Schema der elektrodynamischen Maschinen, wie diese von da ab genannt werden.



Fig. 406. Dr. Werner Siemens.

Die erste solche Maschine, welche Gramme 1872 ausführte, fand in dem galvanoplastischen Institute von Christoffle u. Co. in Paris Verwendung. Das Jahr darauf veränderte Gramme deren Einrichtung in etwas und gab ihr die Form, welche in Fig. 407 abgebildet ist. Die Elektromagnete befinden sich in den beiden Cylindern, welche oberhalb und unterhalb des von der Riemscheibe links in Bewegung zu setzenden Ringes in das gußeiserne Gestell eingelassen sind; ihre Pole umfassen den Armaturring nach beiden Seiten.

Von Hefner-Alteneck hat kurz darauf seinen cylindrischen Anker auch auf die dynamoelektrische Maschine übertragen. Diese Siemens & Halske patentierte Maschine wird in verschiedenen Formen ausgeführt, eine davon ist in Fig. 408 dargestellt; an beiden Seiten vier Elektromagnete, welche aus einzelnen rechteckigen Eisenstücken bestehen, die den cylindrischen in der Mitte liegenden Anker oben und unten umfassen. An den Enden sind die Stäbe durch eine Eisenplatte verbunden, so daß sie einen rechts und einen links liegenden Elektromagnet darstellen, welche mit den gleichnamigen Polen zusammengelegt sind.

Wir können uns an dieser Stelle nicht weiter mit der Besprechung andrer Konstruktionen aufhalten, die nur in unwesentlichen Abänderungen von den betrachteten Typen abweichen. Wir wollen auch nicht auf die verschiedenen Modalitäten eingehen, welche ein und dieselbe Maschine je nach dem Zwecke, dem sie dienen soll, erhalten kann. Es verlangt die Niederschlagung von Metallen z. B. starke Ströme von geringer Spannung, während zur Erzeugung von elektrischem Licht Ströme von großer Spannung zweckmäßiger sind, die aber nicht so kräftig zu sein brauchen. Derlei Rücksichten sind natürlich von Einfluß bei der Ausführung.

Die Hauptaufgabe, mechanische Kraft in Elektrizität umzusetzen, sie in dieser Form auf jede beliebige Entfernung hin leiten und zu den mannigfachen Leistungen, deren sie fähig ist, verwenden zu können, ist gelöst.

Eine Wasserkraft, eine Dampfmaschine, eine Windmühle, ein in ein Göpelwerk eingespanntes Pferd kann zur Erzeugung von elektrischem Licht, zur Ausführung galvanoplastischer Prozesse, zur Ingangsetzung von Telegraphenapparaten u. s. w. benutzt werden, sobald ihre Kraft zur Bewegung einer dynamoelektrischen Maschine verwandt wird. Die elektrische Batterie ist unnötig geworden; denn wenn auch der Nutzeffekt, den die Dynamomaschine gewährt, noch weit entfernt von dem Punkte ist, den die Theorie als erreichbar hinstellt, so ist doch jetzt schon die Erzeugung von elektrischen Strömen durch mechanische Arbeitskraft weit billiger als mittels des chemischen Prozesses in den galvanischen Elementen. Dieser wirtschaftliche Vorteil muß sich aber durch weitere Vervollkommnung noch erhöhen, und darin liegt die bis vor kurzem ungeahnte große Bedeutung der Elektrotechnik.

Fig. 407. Dynamoelektrische Maschine von Gramme.

Eine der wichtigsten und für die Zukunft vielleicht die großartigste Anwendung der Elektrizität wird die zur **Übertragung von mechanischer Arbeitskraft** sein. Die Erfindung der dynamoelektrischen Maschine hat dieses Problem, welches eine Zeitlang ziemlich aufgegeben schien, der Lösung um einen großen Schritt näher geführt: denn den Vorrichtungen zur Umsetzung von Elektrizität in mechanische Arbeit kommen alle jene Verbesserungen, welche die Elektrizitätserzeugung erfährt, in genau gleichem Grade zu gute.

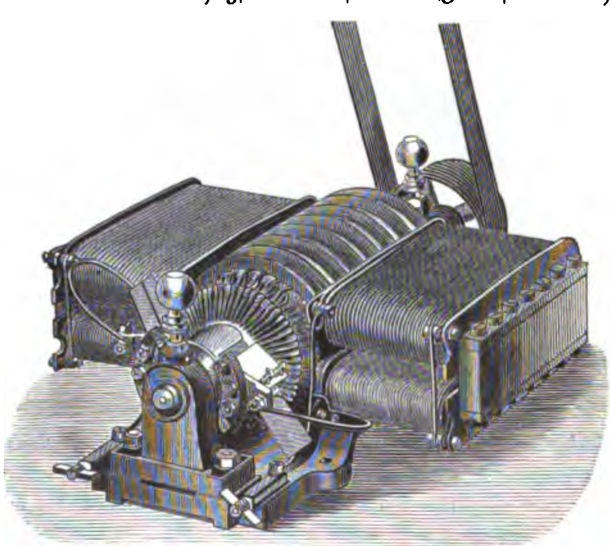


Fig. 408. Dynamoelektrische Maschine von v. Hefner-Alteneck.

Wenn wir auf diesem Gebiete die Blicke zurückwenden, so sehen wir frühzeitig schon Bestrebungen auftauchen, die Elektrizität als Betriebskraft auszunutzen. Das mechanische Hilfsmittel dazu nannte man

Die elektromagnetische Kraftmaschine. Umgekehrt wie man mechanische Arbeitskraft in Elektrizität sich in den Rotationsapparaten verwandeln sah, sah man in der großen Gewalt, mit welcher Eisenmassen von Elektromagneten angezogen und festgehalten werden, die Elektrizität mechanische Arbeitsleistung ausführen. Es war nicht schwer, Elektromagnete herzustellen, welche die gewöhnlichen Stahlmagnete hundertfach an Zugkraft übertrafen und die mit Bequemlichkeit wohl einige Tausend Zentner festzuhalten im stande waren.

Der Gedanke, diese scheinbar große Kraft zum Maschinenbetriebe auszunutzen, tauchte denn sehr bald auf. Schon im Jahre 1834 versuchte dal Negro den Elektromagnetismus als Triebkraft anzuwenden, und das Jahr darauf veröffentlichte Jakobi die Beschreibung eines zu demselben Zwecke konstruierten Apparates, er befuhr 1839 die Newa in einem Boote, welches durch einen elektrischen Motor von $^3/_4$ Pferdekraft getrieben wurde. Wie konnte ein solcher eingerichtet sein?

Denken wir uns einen hufeisenförmigen Stahlmagnet so gestellt, daß seine Pole nach oben in einer Horizontalebene liegen, und darüber in ganz geringer Entfernung einen um seine Achse drehbaren Elektromagnet von gleichem Abstand der Pole, so wird der Nordpol des Stahlmagneten dem Südpol des Elektromagneten nach der bekannten Wirkung der magnetischen Anziehung sich nähern und ihn festzuhalten suchen. Wechselt nun in dem Augenblicke, wo die so entgegengesetzten Pole übereinander stehen, die Richtung des Stromes, so werden die Pole des Elektromagneten sich umkehren; was früher Südpol war, wird zum Nordpol, und was Nordpol war, zum Südpol. Dadurch kommen aber gleichnamige Pole übereinander, die sich abstoßen; der Elektromagnet macht einen halben Umlauf, um die andern, anziehenden Pole zu erreichen; in dem Augenblick aber, wo er so weit ist, wechselt der Strom wieder, und so fort, nach jeder halben Umdrehung aufs neue. Eine solche Vorrichtung ist im Grunde nichts weiter als ein elektromagnetischer Rotationsapparat mit umgekehrter Wirkung. Durch den eingeleiteten Strom entsteht eine Drehung der Magnete, welche man, da die schwere Eisenmasse des Elektromagneten viel lebendige Kraft aufzunehmen vermag, in andre Bewegung umsetzen und zum Betriebe kleiner Maschinen verwenden könnte.

Dieses Prinzip einer elektromagnetischen Kraftmaschine unterzulegen sind viele Versuche unternommen worden; es steht dem Erfolge aber ein großer Übelstand entgegen.

Trägt ein Magnet eine Last von 110 kg, wenn er mit ihr in Berührung steht, so ist seine Zugkraft auf dieselbe, wenn die Entfernung $0{,}_1$ mm beträgt, nur noch 45 kg, bei $0{,}_{25}$ mm Entfernung nur noch 25 kg, bei $0{,}_5$ mm nur noch 20 kg und so weiter immer weniger. Nun ist es aber schon wegen der Ausdehnung durch die Wärme nicht thunlich, die beweglichen Teile näher als $0{,}_5$ mm aneinander zu bringen, es kann also eine sehr große Menge Elektrizität gar nicht zu nutzbarer Wirkung gelangen. Außerdem aber verläßt der elektromagnetische Zustand größere Eisenmassen, wenn sie auch weich sind, nicht so vollständig, daß nicht selbst hierdurch wesentliche Kraftverluste entständen.

Um den letzterwähnten Umstand zu vermeiden, hat man eine Änderung dahin gemacht, daß man weiche Eisenkerne abwechselnd von Drahtspiralen anziehen ließ, durch welche der elektrische Strom geleitet wurde.

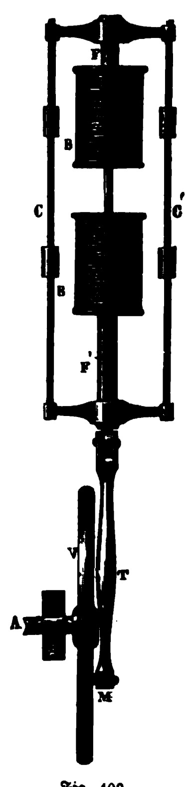


Fig. 409. Pages elektromagnetische Kraftmaschine.

Eine solche Maschine, von Page konstruiert, zeigt uns Fig. 409. Sie besteht aus zwei Elektromagneten B und B', die aus weichen Eisencylindern bestehen, um welche Spiralen gewickelt sind. Zwei weiche Eisenkerne F und F', welche sowohl unter sich als auch an der Stange T befestigt sind, können in das Innere der Rollen B und B' alternierend eintreten. Wenn durch die Spirale B ein Strom läuft, so ist die andre Spirale B' außer Verbindung mit der galvanischen Batterie. B wird magnetisch und zieht das Eisenstück F in sich hinein, so daß der Rahmen C C', an dem dasselbe hängt, eine abwärts gehende Bewegung macht. Ist derselbe auf dem tiefsten Stande angekommen, so hört in B der Strom auf, der plötzlich nach B' überspringt und diese Spirale zu einem Magneten macht, die ihrerseits nun den Eisenkern F' anzieht und damit den Rahmen C C' wieder hebt, bis wieder der Strom nach B tritt und das Spiel von vorn anfängt. Da jedesmal nur eine Spirale von einem Strom durchflossen ist, die andre also keine Anziehung auf den betreffenden Eisenkern ausüben kann, so ist kein Hindernis für diese Bewegung weiter vorhanden, als

der Widerstand, den die Reibung verursacht, und die Last, welche an T hängt. Diese kann nun in verschiedener Weise wirken und die hin- und hergehende Bewegung in verschiedener Art durch einfache mechanische Umsetzung zu ihrer Überwindung benutzt werden. In unsrer Zeichnung hängt an T eine Pleuelstange, welche die Kraft auf rotierende Arbeitsmaschinen übertragen kann. Allein die mit dem Abstande sich ungemein vermindernde Wirkung in die Ferne übt hier denselben nachteiligen Einfluß wie bei den vorgenannten Maschinen, und von einer auch nur einigermaßen genügenden Ausnutzung der mittels der galvanoplastischen Batterie sehr kostspielig erzeugten Kraft konnte auch hier keine Rede sein. Stöhrer in Leipzig konstruierte darauf eine elektromagnetische Kraftmaschine, bei welcher die Bewegung ebenfalls durch einen cylindrischen Magnet (Elektromagnet) mit bleibenden Polen hervorgebracht wurde, der sich zwischen einem aus Drahtwindungen gebildeten Rahmen um eine Achse bewegte. Je nachdem der Strom in der einen oder andern Richtung diese Windungen durchlief, wurden die Pole des Magneten angezogen oder abgestoßen und derselbe, da bei jeder Umdrehung die Maschine selbst durch eine einfache Vorrichtung diesen Stromwechsel zweimal besorgte, dadurch in einer rotierenden Bewegung erhalten, solange die Kette geschlossen war.

Eine große Kraftleistung vermochte aber diese Maschine nicht auszuführen. Dagegen arbeitete sie mit großer Geschwindigkeit, und Stöhrer benutzte ihre Eigentümlichkeit in der passendsten Weise zum Überspinnen von kupfernen Leitungsdrähten mit Seide.

Auch diese Maschinen sind ebenso wie die vorerwähnten im Prinzipe nichts andres als einfache Umkehrungen von solchen Vorrichtungen, wie sie zur Erzeugung von Induktionsströmen benutzt wurden, und bei denen es durchaus gleichgültig war, ob die Induktion durch einen Stahlmagnet oder durch eine von einem elektrischen Strome durchflossene Spirale erregt wurde. Es kann auch nichts andres erwartet werden; die Art der Aufgabe: einmal die Erzeugung von Elektrizität aus mechanischer Arbeitskraft, das andre Mal die Erzeugung von mechanischer Arbeitskraft aus Elektrizität, gibt dies zu erkennen. Und man wird geradezu den Schluß ziehen dürfen, daß jede magnetoelektrische und infolgedessen auch jede dynamoelektrische Maschine im Prinzip auch eine elektromagnetische oder eine, wenn man so sagen will, elektrodynamische Maschine (elektrische Kraftmaschine) darstellt, wenn dieselbe nur von elektrischen Strömen in entgegengesetzter Richtung durchlaufen wird. Man kann sich das durch ein Bild versinnlichen:

Ein Schöpfrad wird durch mechanische Kraft gedreht und befördert dadurch ein gewisses Quantum Wasser auf eine bestimmte Höhe; dasselbe Wasserquantum, von oben hereinfließend, bringt das Rad ebenfalls in Umdrehung, aber in entgegengesetzter Richtung, und dabei kann dieselbe mechanische Arbeitsleistung wieder gewonnen werden, die zum Wasserhube vorher nötig war.

Ähnlich ist es bei den elektrodynamischen Maschinen, wenn die Elektrizität wieder in sie hineinströmen gelassen wird. — Und wie man sich zwei gleich konstruierte Wasserräder denken kann, von denen das eine als Schöpfrad durch Arbeitskraft zum Wasserhube verwendet wird, während das andre am entlegeneren Ende der ziemlich horizontalen Wasserleitung als ein oberschlächtiges Wasserrad die mit dem Wasser zugeleitete Kraft als solche wieder nutzbar machen läßt, so kann man für die beiden Wasserräder auch zwei gleich konstruierte elektrodynamische Maschinen annehmen, zwischen denen die Leitung durch einen metallenen Draht von entsprechender Stärke besorgt wird.

Analog dem Wasserheben bewirkt die dynamoelektrische Maschine I die Erzeugung von Elektrizität, die in der Drahtleitung fortfließt und in die Maschine II ausströmen gelassen wird. Die erste Maschine, die primäre genannt, ist eine wirklich dynamo*)-elektrische, die andre, die sekundäre, kann umgekehrt eine elektrodynamische genannt werden. Ein besonderer Konstruktionsunterschied herrscht zwischen beiden nicht.

Die Kurbel oder Riemscheibe, welche in der primären Maschine die Armatur, den Pacinottischen Ring oder den Hefner-Alteneckschen Cylinder in Bewegung setzt, kann in der Sekundärmaschine zur Abgabe der Arbeitskraft eingerichtet werden.

Die Geschichte der elektromagnetischen Kraftmaschine bricht also mit deren Kindheit ab oder sie geht mit der Geschichte der dynamoelektrischen Maschine zusammen.

---

*) dynamis, die Kraft.

Auch solche Konstruktionen, wie der Elektromotor von Griscom, der neuerdings in Amerika für die Bedürfnisse des Kleingewerbes in Aufnahme gekommen ist und für den der elektrische Strom durch eine galvanische Batterie geliefert wird, sind nichts andres als (sekundäre) dynamoelektrische Maschinen. Die Einrichtung dieser ist aber vordem von uns besprochen worden.

In dieser Art ist denn nun die Dynamomaschine, jene internationale Erfindung, an der Pacinotti, Gramme, Siemens gleichen Anteil haben, zu einer ganz andern Bedeutung gelangt. Mit Hilfe von zwei elektrischen Maschinen gedachter Einrichtung, einer primären und einer sekundären, wird die Übertragung von Arbeitskraft auf jede Entfernung, wohin die Leitung gelegt werden kann, ausführbar.

Ein Wasserfall setzt mittels einer Turbine oder eines Wasserrades eine dynamoelektrische (primäre) Maschine in Bewegung, in derselben wird seine Kraft in elektrische Ströme umgesetzt, diese werden meilenweit fortgeleitet und gelangen am Ziele, nachdem sie durch eine elektrodynamische (sekundäre) Maschine wieder in mechanische Kraft umgewandelt worden sind, als solche zu beliebiger Verwendung, wenn nicht die Elektrizität direkt zur Lichterzeugung oder dgl. benutzt werden soll.

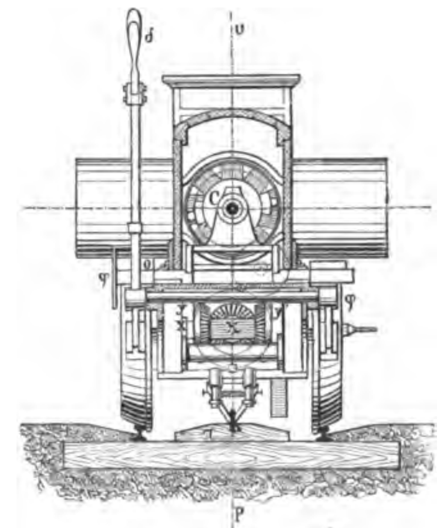


Fig. 410. Elektrische Lokomotive im Querschnitt.

Es steht der Phantasie frei, als den Wasserfall z. B. sich den Niagara, als das Arbeitsfeld sich New York zu denken. Theoretisch schaltet sich kein Hindernis ein, in der Praxis allerdings — die Leitung. Dieselbe wird für Übertragung starker Kräfte sehr kostspielig, so daß bei großen Entfernungen jeder andre Gewinn dadurch wieder aufgehoben werden kann.

So stehen die Sachen heute — vor zehn Jahren haben wir ganz anders geurteilt, und es ist nicht vorauszusehen, wie unser Urteil in weiteren zehn Jahren lauten wird.

Wenn aber auch nicht so ausschweifende Hoffnungen, wie sie bisweilen auf die elektrische Kraftübertragung gesetzt werden, sich erfüllen, für sehr viele Fälle hat sich die dynamoelektrische Maschine schon jetzt sehr nützlich erwiesen. Schon als Einzelmaschine, als Elektrizitätserzeugerin betrachtet, hat sie das Arbeitsgebiet dieser Kraft merkwürdig erweitert. Abgesehen von der in ein ganz neues Stadium getretenen Verwendung der Elektrizität zur Lichterzeugung, in der Galvanoplastik und den damit zusammenhängenden Techniken, bedient man sich jetzt schon im Hüttenbetriebe der elektrischen Ströme nicht nur zur Reindarstellung von Metallen, z. B. Kupfer, aus ihren Salzlösungen, sondern auch zur Sortierung magnetischer Erze von nicht magnetischen. Man reinigt die Porzellanerde, indem man die färbenden Eisenteile auf elektromagnetischem Wege ausziehen läßt. Ja selbst in der Farbstoffindustrie hat man ihr eine Rolle zugeteilt, indem man die bei der galvanischen Wasserzersetzung ausscheidenden Gase, Sauerstoff und Wasser, zur Oxydation beziehentlich Desoxydation von gewissen Verbindungen benutzt, aus denen durch die genannten Prozesse eine Anzahl der bekannten Teerfarben gewonnen werden können.

Einen ungleich größeren Wirkungskreis aber scheint die Dynamomaschine, gepaart in der aus primärer und sekundärer zusammengesetzter elektrischer Kraftübertragung, gewinnen zu wollen. Man baut elektrische Aufzüge, elektrische Pflüge, elektrische Fördermaschinen für Bergwerke, und es gewinnt das Aussehen, ob für viele Fälle, in denen die Lokomobile kaum erst zur Anwendung gekommen ist, sie auch schon wieder der elektrischen Maschine weichen sollte.

Die elektrische Eisenbahn ist eins der interessantesten Beispiele der merkwürdigen Kraftübertragungsweise, die hier ihre Rolle spielt; sie ist zuerst von Siemens & Halske gelegentlich der Berliner Gewerbeausstellung (1879) ausgeführt worden, wo mittels dynamoelektrischer Maschinen eine kleine Lokomotive mit drei je sechssitzigen Personenwagen auf

einer schmalspurigen Eisenbahn in Betrieb gesetzt waren. Das Geleis hatte außer den gewöhnlichen Fahrschienen noch eine aus Flacheisen bestehende Mittelschiene π (Fig. 410), welch letzterer die Stromleitung zugeteilt war.

Die Stromerzeugung fand in einer dynamoelektrischen Maschine, System Hefner-Alteneck, statt, welche durch eine Dampfmaschine in Bewegung gesetzt wurde; Dampfmaschine und Dynamo befanden sich in einem besonderen Gebäude. Die Rückleitung des Stromes geschah durch die beiden Fahrschienen, welche mittels der Lokomotivräder in bleibender Verbindung mit der auf der Lokomotive befindlichen Sekundärmaschine standen.

Der Strom mußte also, um wieder zurück zur Primärmaschine zu gelangen, seinen Weg aus der Mittelschiene durch die daran schleifende Kupferbürstenleitung in die Sekundärmaschine nehmen, worin er den Anker und mit diesem die daran gekuppelten Fahrräder in Umdrehung setzte. Die Fahrgeschwindigkeit betrug etwa 3 m in der Sekunde bei einem zu bewegenden Gesamtgewichte von 3000 kg an Lokomotive, Wagen und Personen; eine Arbeitsleistung, welche etwa drei Pferdekräften entsprach.

In ähnlicher Weise sind auf späteren Ausstellungen elektrische Bahnen von derselben Firma in Betrieb gesetzt worden; eine dem regulären Personenverkehr dienende Bahn wurde von ihr zur Verbindung der Hauptkadettenanstalt mit dem Bahnhofe der Berlin-Anhaltischen Eisenbahn in Lichterfelde (s. Fig. 411) gebaut und 1881 eröffnet. Dieselbe hat eine Länge von 2,5 km; das Geleis eine Spurweite von 1 m; die größte Steigung beträgt 1:100. Hier ist die Mittelschiene weggelassen; der Strom nimmt seinen Weg von der einen Fahrschiene durch die von den Achsen und dem übrigen Wagenkörper isolierten Bandagen der Räder nach Metallbüchsen, die auf den Achsen isoliert sitzen, wird hier von Schleiffedern aufgenommen und nach der Sekundärmaschine geleitet. Auf gleiche Weise geht er aus dieser nach der zweiten Fahrschiene, die als Rückleitung dient.

Die mittlere Geschwindigkeit des Wagens beträgt 20 km pro Stunde, kann aber bis auf das Doppelte gesteigert werden.

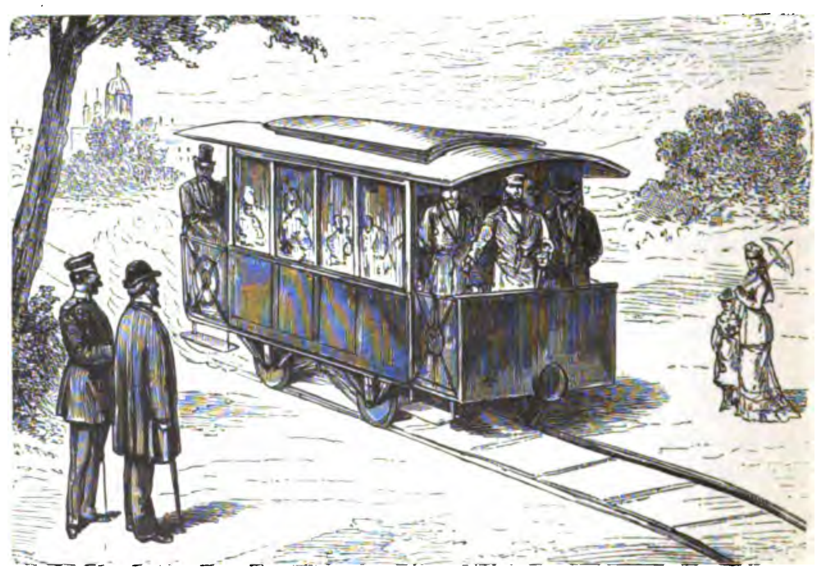


Fig. 411. Elektrische Eisenbahn in Lichterfelde.



Ich seh',
Wie Blitze hier, dort Wolken niedertauen,
Wie endlos Nebel um die Pole grauen,
Wie um den Gleicher die Vulkane rauchen,
Und wie in stetem Saugen und Verhauchen
Die Lebenskräfte sprudeln und verfließen
Und Blumen gleich sich öffnen und sich schließen.

H. Lingg.

Die Erfindung des Telegraphen.

Die Telegraphie der Alten. Ruferlinien. Optische Telegraphen. Fackel- und Flaggensignale. Chappes Telegraph. Geschichte und Einrichtung. Akustische und hydraulische Telegraphie. Die elektrische Telegraphie. Winkler. C. M. Lemond und Boeckmann. Sömmerings galvanischer Telegraph. Schilling von Kannstatt. Gauß und Weber. Das Verdienst Cookes. Wheatstone. Der Nadel- und Doppelnadeltelegraph. Steinheils Schreibtelegraph. Davy erfindet und Wheatstone verbessert den Zeigertelegraphen. Steinheils Entdeckung der Erdleitung. Die chemischen Telegraphen. Morse-System. In einem Telegraphenbureau. Automatische Telegraphie. Der Cowpersche Schreibtelegraph. Das Gegensprechen. Die Leitung. Unterseeische und unterirdische Kabel. Legung des atlantischen Kabels. Elektrische Uhren.

Das Bedürfnis, wichtige Nachrichten möglichst schnell nach entfernten Orten zu befördern, mußte sich schon in der ersten Zeit der Völkerentwickelung einstellen. Überfälle und sonstige Gefahren den Freunden warnend anzudeuten, oder sie zu rascher Hilfe herbeizuholen, endlich glückliche Ereignisse zu verkündigen — dazu fand sich Gelegenheit, sobald die Menschen überhaupt zu einander in ausgedehntere Stammes- oder Staatenbeziehungen getreten waren. Es dürfte daher auch sehr schwer, wenn nicht unmöglich sein, den ersten Spuren der Telegraphie nachzugehen, eigentlich der Kunst, in die Ferne zu schreiben (von tele, in die Ferne, fernhin, und graphein, schreiben).

Die zuerst angewandten Mittel sind übrigens bei allen Völkern so ursprünglicher Natur gewesen, daß anzunehmen ist, sie sind fast überall auch in gleicher Weise angewendet worden. *Ausgestellte Posten* riefen einander entweder die Nachricht zu oder meldeten

einander durch weit sichtbare Signale, **Feuerzeichen**, **Flaggen**, **Rauchsäulen** u. dgl., das Eintreten eines vorausgesehenen Ereignisses.

Vom persischen König **Dareios Hystaspes** wird erzählt, daß er, zur Beförderung wichtiger Nachrichten aus den entferntesten Provinzen des Reiches nach seiner Hauptstadt, laut rufende Männer in gewissen Entfernungen auf Anhöhen aufgestellt habe. Diese „Ohren des Königs", wie man sie nannte, riefen einander die Nachrichten zu und verbreiteten sie an einem Tage bis auf eine Entfernung von 30 Tagereisen.

In dem Trauerspiel „Agamemnon" von Äschylos wird erwähnt, daß die Gattin des Eroberers die Nachricht von der Einnahme Trojas noch in derselben Nacht durch Signalfeuer erfahren habe, trotzdem eine Strecke von 70 Meilen dazwischen und darin das Ägäische und Myrtoische Meer lag. Die Stationen für die Telegraphenwächter waren bei dieser Gelegenheit auf dem Ida in Troas, dann auf dem Hermäos in Lemnos, Athos, Makistos in Euböa, Messapios in Böotien, Graia, Kithäron, Ägiplanktos in Megaris und Arachnäon in Argolis.

Die Könige **Persiens** hatten, wie Herodot erzählt, förmliche Telegraphenlinien, auf denen alle wichtigen Nachrichten mittels Fackelsignalen befördert wurden, und **Hannibal** soll in Spanien und Afrika sogar feste Türme als Stationsplätze errichtet haben.



Fig. 413. Fackeltelegraph.

Durch bloße Fanale, wie sie von allen Völkern, von den Griechen und Römern bis zu den Chinesen und den Ureinwohnern Nordamerikas, angewendet wurden und von den Bergvölkern Schottlands, der Schweiz u. s. w. noch angewendet werden, lassen sich natürlich nur sehr mangelhafte Mitteilungen machen. Die Fackelsignale aber, deren Altertum ebenfalls ein sehr hohes ist, erlauben schon die Mitteilung sehr verschiedenartiger und ganz unvorhergesehener Nachrichten. Es heißt, daß schon **Kleoxenes** und **Demokritos** (450 v. Chr.) Buchstabensysteme aufgestellt haben sollen. Bei Polybius wird ein Apparat mit schachbretähnlicher Einrichtung erwähnt, bei welchem die 25 Buchstaben des Alphabets in fünf Horizontal- und fünf Vertikalreihen angeordnet waren, so daß jeder derselben durch zwei Zahlenangaben mittels Fackeln bei Nacht oder Flaggen bei Tage richtig bezeichnet werden konnte.

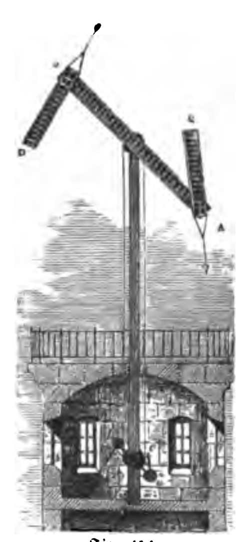
Auf der Trajanssäule, welche in den ersten Jahrzehnten des zweiten Jahrhunderts n. Chr. zum Andenken an die Kriegführung Trajans in den Donauländern errichtet worden ist, ebenso auf der Antoninssäule, befinden sich merkwürdige Abbildungen, welche kleine Türme darstellen, Warttürme, von quadratischem Grundriß, mit zwei Geschossen, um deren oberes eine Galerie mit starkem hölzernen Geländer läuft. Es sind zwei solche benachbarte Warttürmchen auf der Trajanssäule dargestellt, bei jedem derselben ragt über die Galerie eine angezündete Fackel, die offenbar zum Signalgeben dient. — Daran wäre nichts Besonderes. Nun aber glaubt man Grund zu haben, in gewissen Bauten, die längs des sogenannten Pfahlgrabens in kurzen Abständen voneinander errichtet waren und deren Spuren man noch findet, die Originale zu jenen Abbildungen zu sehen. Aus der Art der Verteilung längs des Pfahlgrabens, der als limes, als Abgrenzung zwischen den von den Römern eroberten und den freigebliebenen Gebieten errichtet war, ergibt sich dann, daß wir in diesem Bauwerk nicht eine Befestigung anzunehmen haben (als solche würde es sehr

ungenügend sein), sondern eine Telegraphenlinie, auf welcher alle von außen kommenden Nachrichten aufgenommen und entweder nach den längs der Grenze hin liegenden Stationen und Besatzungen oder in das Innere nach den Hauptplätzen der römischen Gewalthaber durch Fackelsignale bei Nacht, durch Fahnensignale bei Tage weiter befördert wurden.

Es dienten wohl auch Holzstücke, die man auf Turmstangen aufhing und bald in die Höhe zog, bald senkte, zum Telegraphieren. — Trotzdem alle diese verschiedenen Systeme mit großen Übelständen behaftet waren, kam man später zum öfteren wieder darauf zurück, und Keßlers Erfindung (1617), welche darin bestand, in einer Tonne ein Licht zu brennen und die Stelle, welche der zu bezeichnende Buchstabe im Alphabet einnimmt, durch so und so vielmaliges Öffnen des Deckels zu markieren, steht noch ganz auf dem Niveau der alten römischen Einrichtungen.

Daß dagegen auf den Schiffen heute noch Flaggen- und Lampensignale in Gebrauch sind, ist durch die Natur der Sache bedingt.

Einen Fortschritt machte man erst in den dreißiger Jahren des 17. Jahrhunderts, wo der englische Marquis von Worcester (1633) einen optischen Zeichentelegraphen angab, welchen Amontons (1663), ein tauber Franzose, ausbildete. Im Jahre 1684 trat der Engländer Hooke mit einer Erfindung auf, durch bewegliche Lineale geometrische Figuren zu telegraphieren, über deren systematische Bedeutung man sich verständigt hatte, und 1765 baute sich der Engländer Edgeworth einen Telegraphen zu seinem Privatgebrauch zwischen London und Newmarket.


Fig. 414.
Der Chappesche Telegraph.

In demselben Jahre zeigte Professor Bergsträßer in Hanau in seiner Synthematographik, wie man in einem Lager von 200000 Mann Soldaten allen Generalen zugleich, und jedem gerade so viel als er wissen solle, und zwar ohne großen Aufwand bei Tag und bei Nacht, Befehle erteilen könne, und brachte die Einrichtung einer solchen Signalpost, wie er sie nannte, von Leipzig nach Hamburg in Vorschlag. Man machte auch im Sommer des Jahres 1786 auf der acht Stunden von Hanau entfernten sogenannten Goldgrube am Fuße des Feldbergs einige Versuche, welche ganz guten Erfolg hatten, allein die Sache ward nicht besonders beachtet und daher bald vergessen. Als sie aber als französische Erfindung, und deshalb schon viel geräuschvoller, nach Deutschland zurückkehrte, schenkte man ihr jene Aufmerksamkeit, welche sie ursprünglich verdient hätte.

Der Chappesche Telegraph. Es heißt, daß der Ingenieur Claude Chappe, um von Angers aus mit seinen beiden Brüdern, welche sich in einem $3^1/_2$ km entfernten Institut befanden, zu verkehren, seinen Telegraphen erfunden habe. Das ist nichts als eine Fabel, vielmehr erfaßte Chappe die Idee, als er 1790 nach längerer Abwesenheit mit seinen vier Brüdern im mütterlichen Hause zu Brulon zusammentraf, durch eine mechanische Vorrichtung einen raschen Gedankenaustausch zu ermöglichen. Er stellte eine Anzahl von Versuchen an, welche von der Nachbarschaft teils belächelt, teils verhöhnt wurden, aber endlich doch die Aufmerksamkeit des Nationalkonvents erregten. Nachdem durch weiter angestellte Versuche der Brüder sowie der Unterstützung des Konsuls Delauny und des Uhrmachers Breguet das System vervollkommnet worden, ordnete jene jemals bestehende Behörde, hauptsächlich durch Romme dazu gedrängt, die Errichtung einer Telegraphenlinie zwischen Paris und Lille, 30 Meilen mit 22 Stationen, an (Juli 1793). Die erste telegraphische Depesche war die Nachricht von der Wiedereinnahme von Condé (29. August 1794), auf welche der Konvent erwiderte, daß dieser Platz künftighin Nord-Libre heißen solle, welcher Name aber mit der Revolution wieder verschwand. Vom Abgang der Depesche bis zum Einlaufen der Antwort verflossen drei Viertelstunden.

Auf Bergen, Hügeln, Türmen u. dergl. wurden kleine, mit zwei Fenstern versehene Gebäude angelegt, so eingerichtet, daß man von ihnen eine Aussicht nach dem nächsten Telegraphen hatte. Auf der Plattform erhebt sich eine senkrechte Stange, an deren Spitze

sich ein horizontal liegender, 3—5 m langer und 22—32 cm breiter starker Rahmen befindet, der sich um eine durch die Achse gehende Welle so drehen läßt, daß er alle möglichen Stellungen in einem vertikalen Kreise annehmen kann (┬). An jedem Ende dieses sogenannten Regulatorrahmens befindet sich ein 2 m langer und 30 cm breiter ähnlicher Rahmen, der Indikator oder Flügel, welcher wiederum gegen den Regulator jede beliebige Stellung annehmen kann (┌┐ ┌┘ ↘). Die einzelnen Teile sind durch Gegengewichte so vorgerichtet, daß sie sich mit einer sehr geringen Kraft umeinander bewegen lassen. Um dem Winde keinen zu großen Widerstand entgegenzusetzen, sind alle Teile nach Art der Jalousien gefenstert. Alles ist schwarz angestrichen.

Solange nun die Maschine ruht, sind die Indikatoren eingeschlagen und liegen platt auf dem Regulator, so daß sie nicht zu sehen sind. Will man aber telegraphische Zeichen geben, dann werden Hauptflügel und Arme in verschiedene Lagen gebracht. Schon an ersterem allein lassen sich vier Veränderungen vornehmen, die senkrechte (|), wagerechte (—), schiefe von der Rechten zur Linken (/) und von der Linken zur Rechten (\). Weit zahlreicher als diese sind aber die Bewegungen an den Seitenarmen je nach den Winkeln, in welche der eine oder andre oder beide zugleich gegen den Regulator gebracht werden. Es sind hier nur die sieben leichtest erkennbaren Stellungen zum Signalisieren gewählt, und zwar zwei senkrechte (oben und unten), eine wagerechte, zwei im 45. Grad oben und zwei im 45. Grad unten. Diese sieben Stellungen des einen Indikators geben mit den sieben Stellungen des andern zusammen 49 Signale, und da dieselben bei jeder der vier Stellungen des Regulators stattfinden können, so gibt der Chappesche Telegraph 196 sehr deutlich voneinander zu unterscheidende Figuren. Von diesen hat man 70, als die leichtest erkennbaren, herausgewählt, und man vermag mit ihnen nicht nur die Buchstaben und Ziffern, sondern auch die Satzzeichen darzustellen.

Die Bewegungen der drei Teile des Telegraphen und ihre gegenseitigen Stellungen werden durch einen einzigen Mann mittels über Rollen geleiteter, in dem Regulator und der Hauptsäule hinlaufender Schnüre mit großer Sicherheit und Leichtigkeit ausgeführt. Der Telegraphist befindet sich nämlich in seinem Zimmer unmittelbar unter dem Telegraphen, und es gehen die Leitschnüre von dem letzteren zu einem kleinen, von Metall gebauten Modelltelegraphen, der im Zimmer steht und an welchem der Telegraphist die zu gebenden Signale macht, die sich dann von selbst mit Genauigkeit auf den großen Telegraphen übertragen.

In jedem Telegraphenzimmer befinden sich nun zwei gute Fernrohre, welche gleich in der Mauer befestigt und so gerichtet sind, daß man die beiden Telegraphen deutlich im Gesichtsfelde hat, um jede Bewegung, welche mit ihren Armen vorgenommen wird, genau erkennen zu können.

Sehr bald dehnten sich die Telegraphenlinien über das ganze Land aus. In Paris liefen sie sämtlich zusammen. In der Ebene standen die Stationen oft sechs bis acht Stunden, in den Gebirgen weniger weit voneinander entfernt, so daß man immer den einen Telegraphen von dem nächstfolgenden aus genau erkennen konnte, und jede Bewegung, welche von Paris ausging, wurde successiv von allen den Telegraphen mechanisch nachgeahmt, welche auf dem Wege lagen, den die Depesche nehmen sollte.

Auf diese Weise war es möglich, eine Nachricht mit ziemlicher Schnelligkeit zu verbreiten. So erhielt man in Paris eine Depesche aus Lille, 60 Stunden weit, in 2 Minuten; aus Calais (68 Stunden) in 4 Minuten 5 Sekunden; aus Straßburg (120 Stunden) in 5 Minuten 52 Sekunden; aus Toulon in 13 Minuten 66 Sekunden; aus Bayonne in 14 Minuten; aus Brest (150 Stunden) in 6 Minuten 50 Sekunden u. s. w. Andre Länder folgten bald mit ähnlichen Einrichtungen, so Schweden 1795, England 1796 nach Lord Murrays System, Dänemark 1802, Frankfurt a. M. 1798, Preußen 1833, Österreich (Wien-Linz) 1835, Rußland (Warschau-Petersburg) 1839, selbst Ostindien und die Türkei hatten ihre Telegraphen. Die bedeutendste deutsche Telegraphenlinie war die von Berlin nach Köln, welche von der Regierung, ebenfalls nur zu Staatszwecken, errichtet war. Ein einzelnes Signal brauchte 10 Minuten, um von einem Endpunkte zum andern zu gelangen, eine ganze Depesche erforderte dagegen eine ziemliche Zeit, da die Zeichen einander doch nicht sehr rasch folgen konnten.

So verbreitet nun auch diese Einrichtung war, so sehr sie angestaunt wurde, so hatte sie doch den bedeutenden Mangel, daß sie nur zur Tageszeit und bei hellem Wetter gebraucht werden konnte. Trat Regen oder Nebel ein, und wenn er auch nur zwischen zweien der vielen Stationen erschien, so hörte die ganze Thätigkeit mit einem Male auf, und vor einigen dreißig Jahren noch brachen gewöhnlich in den Zeitungen die Depeschen da ab, wo sie am interessantesten zu werden versprachen. Eben arbeiten die Flügel noch rasch und geschäftig — plötzlich bleiben sie, wie vom Starrkrampf befallen, auf einem Signale stehen — eine lange Zeit — endlich zucken sie wieder unverständlich auf, dann schweigen sie wieder; während dessen besteht die Depesche aus nichts als aus lauter Punkten — darauf kommen einige Worte — ganz unzusammenhängend mit den vorhergehenden — wieder Punkte, und schließlich: „. . . einfallender dichter Nebel macht die Fortsetzung nicht mehr erkennbar."

Neben den optischen Telegraphen wollen wir nur kurz noch einiger andern Erwähnung thun, welche in verschiedenen Zeiten vorgeschlagen und zum Teil auch ausgeführt worden sind.

Die Beobachtung, daß der Schall bei seiner Fortpflanzung durch Röhren nur sehr wenig geschwächt wird, ließ den wiederholt schon erwähnten Neapolitaner Porta um 1579 den Vorschlag machen, anstatt der im Altertum gebräuchlichen Ruferlinien Schallröhrenleitungen anzulegen. Diese akustischen Telegraphen haben indessen, trotzdem man öfters, unter andern der Cisterciensermönch Gauthey, wieder auf dies Projekt zurückkam, keine ausgedehntere Anwendung gefunden; zur Kommunikation in größeren Etablissements, Fabriken u. dergl. bedient man sich ihrer aber mit Vorteil. Die Vorschläge, aus verschiedenen Tönen ein Buchstabensystem zusammenzusetzen, welche von Doull, Sudre und andern ausgegangen sind (musikalische Telegraphen), erwähnen wir nur der Vollständigkeit wegen. Ebenso sind die pneumatischen Telegraphen nicht in Aufnahme gekommen, in denen Luft durch eine Röhre gedrückt werden und am andern Ende als Blasen aus Wasser heraustreten sollte (Rowley 1838). Was in dieser Richtung sich irgend Praktisches ergeben könnte, das hat neuerdings die Paketbeförderung durch Luftdruck ausgebeutet. Und die hydraulischen Telegraphen sind verdiente Schicksalsgenossen der pneumatischen geworden. Eine Uförmige, mit Wasser gefüllte Röhre bildet das Wesentliche derselben. Die senkrechten Schenkel sind gleichmäßig geteilt und befinden sich auf den beiden Endstationen. Wird der eine Wasserspiegel mittels eines Kolbens nun auf der einen herabgedrückt, so hebt er sich auf der andern fast in demselben Augenblicke um ebensoviel in die Höhe, man kann also durch Schwimmer beliebige Buchstaben bezeichnen lassen. Die Alten ließen aus zwei auf den entfernten Stationen aufgestellten Gefäßen, in denen ein markierter Stab aufgestellt war, Wasser auslaufen, bis der Spiegel das gewünschte Zeichen erreichte, worauf durch ein Lichtsignal Halt geboten wurde.



Fig. 416. Hydraulischer Telegraph.

Nachdem also solche Vorrichtungen schon im Altertum (Äneas Taktikos im 4. Jahrhundert v. Chr.) vorgeschlagen worden sind, hat man, als zu Ende des vorigen und zu Anfang dieses Jahrhunderts die Telegraphie anfing große Bedeutung zu gewinnen, ihr Prinzip wieder hervorgesucht, und Bramah (1796), Wallance (1824), Jobard (1827) und Jowett (1847) selbst noch haben sich mit seiner Verbesserung beschäftigt. Es ist aber nichts damit erreicht worden, denn einerseits erfüllten die Chappeschen Telegraphen das damals Verlangte in der ausgezeichnetsten Weise, anderseits aber, als diese später durch das heutige Telegraphensystem überflüssig gemacht wurden, konnten so mangelhafte Apparate erst recht nicht mehr irgend eine andre Aufmerksamkeit als die des historischen Interesses für sich verlangen.

Die elektrische Telegraphie ist in der That das Einzige, Vollkommenste, was bezüglich der Fernschreibekunst erdacht werden kann, und es scheint, als ob das Höchstmögliche

auch fast schon erreicht wäre. Wir haben streng genommen drei Perioden in der Entwickelung der heutigen Telegraphie zu unterscheiden, welche sich dadurch charakterisieren, daß nacheinander die Reibungselektrizität, der Galvanismus und endlich der Elektromagnetismus als Agens in den telegraphischen Apparaten angewandt wurden.

Die große Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektrizität mußte schon frühzeitig auf den Gedanken ihrer Anwendung zur Telegraphie führen. Schon vor mehr als 100 Jahren (1746) sehen wir den Professor Winkler in Leipzig die Elektrizität durch lange Drähte und unter der Pleiße hindurchleiten. Vom 1. Februar 1753 soll ein mit C. M., angeblich den Anfangsbuchstaben vom Namen des Schotten Charles Marshall, unterzeichneter Brief aus Renfrew existieren, dessen Verfasser rät, 24 Drähte von einer Station zu einer andern, mit welcher man in Gedankenaustausch treten will, zu führen; vor jeden Draht ein kleines, mit einem Buchstaben bezeichnetes Holundermarkkügelchen zu legen, die Drähte aber unterwegs durch Träger von Glas oder Harz zu isolieren. Werde auf der einen Station nun ein Draht mit Elektrizität geladen, so ziehe sein zweites Ende auf der andern Station das unter ihm liegende Holundermarkkügelchen an, und auf diese Weise wäre es möglich, rasch Worte und Sätze zu telegraphieren. Statt der Holundermarkkügelchen könne man auch kleine Glöckchen auslösen und erklingen lassen. Lesage in Genf konstruierte 1774 einen solchen Telegraphen, den er aber wohl selbst erfunden hatte.

In dieser Zeit und bald nachher beschäftigten sich viele Physiker mit derselben Aufgabe und brachten mancherlei Vorschläge zuwege. Professor Zetzsche nennt in seinem „Abriß der Geschichte der elektrischen Telegraphie" noch Cavallo 1795, Salva 1796, Bétancourt 1798. Von besonderem Interesse erscheinen nur die Vorschläge von Lomond und von Boeckmann, welche beide anstatt der umständlichen 24 Drähte nur einen oder zwei anbringen und durch Kombinationen von Zeichen (Anziehung eines Holundermarkkügelchens oder Überspringen eines Funkens durch Entladung einer Leidener Flasche, Boeckmann) die Buchstaben signalisieren wollten. Darin liegt schon das Prinzip, welches später beim Nadeltelegraphen sowohl als bei dem Morseschen Apparate wieder auftauchte. Und merkwürdig, auch die Idee, welche dem lange Zeit und in England jetzt noch gebräuchlichen Zeigertelegraphen zu Grunde liegt, finden wir schon 1816 von dem Engländer Ronalds angegeben, welcher auf den beiden Endstationen ganz gleiche Uhrwerke aufstellen und durch diese mit Buchstaben in vollkommener Übereinstimmung beschriebene Scheiben in Umdrehung setzen ließ. Die Scheiben drehten sich vor einem Schirme mit einer Öffnung, durch die gerade ein einziger Buchstabe dem Beobachter erschien. Kam der gewünschte, so wurde die Bewegung auf einen Augenblick durch elektrische Erregung unterbrochen.

Wir sehen aber die Versuche mit der Reibungselektrizität aufgegeben, nachdem im Galvanismus eine viel geeignetere Kraftform entdeckt worden war.

Die galvanischen Telegraphen lassen ihre Geschichte, wie jetzt klar dargelegt ist, bis in das Jahr 1809 verfolgen, und es gebührt dem deutschen Physiologen Sömmering in München der Ruhm, zuerst mit klarer Erkenntnis der Frage und der zu ihrer Lösung vorhandenen Mittel, die Bahn beschritten zu haben. Den ersten Anstoß hierzu gaben jene verheerenden Kriege, welche zu Anfang dieses Jahrhunderts von Frankreich aus sich über Europa verbreiteten. Der blutige Verkehr der Völker säete eine Saat, die für die wahre Humanität fruchtreicher sich entwickeln sollte, als je eine zuvor. Aber merkwürdig bleibt es, daß gerade die französische Nation, deren großartige Erhebung als erster Impuls die nachhaltigen Erschütterungswellen trieb, gerade am spätesten und am mangelhaftesten die heilsamen Erfolge der angeregten Erfindung sich zu nutze machte. Noch im Jahre 1846 stemmte sich die Deputiertenkammer gegen die Anlegung einer elektrischen Telegraphenleitung von Paris nach Lille, und nur dem zwingenden Auftreten Aragos ist es zuzuschreiben, daß nach und nach wenigstens Versuche Eingang fanden, welche schließlich die vielbezärtelte Chappesche Erfindung, auf die sich die französische Nationaleitelkeit soviel zu gute that, allerdings durch unvergleichlich Vollkommneres zu verdrängen wußten.

Im Jahre 1851 erst wurde der elektrische Telegraph in Frankreich dem Publikum zum öffentlichen Gebrauch übergeben, und in den ersten zwei Monaten beförderte er von Paris aus nicht mehr als 500 Depeschen!

Doch zurück zu unsrer historischen Betrachtung.

Es war nicht zu verkennen, daß die raschen und mit infolgedessen so überaus glücklichen Unternehmungen Napoleons ganz besonders durch den ausgezeichneten Rapport, welcher den Willen des Einzigen mit rapider Schnelligkeit allen Teilen seines Heeres übermittelte, unterstützt, ja oft sogar lediglich dadurch ausführbar wurden. Die unglückliche Einschließung des Generals Mack in Ulm war ein Beispiel, welches Bayern zu nahe vor Augen lag, um übersehen zu werden. Als nun vollends der ganz unvorhergesehene Einfall der Österreicher am 9. April 1809, der den König am 11. zur Flucht aus München trieb, Napoleon so rasch durch den optischen Telegraphen hinterbracht wurde, daß bereits am 22. April München, welches sechs Tage vorher von den Österreichern eingenommen worden war, durch die Franzosen entsetzt werden und der König Maximilian sechzehn Tage nach seiner Flucht wieder in seine Residenz einziehen konnte, lenkte sich die Aufmerksamkeit des bayrischen Ministers Montgelas ernstlich der großen Bedeutsamkeit der Telegraphie zu.

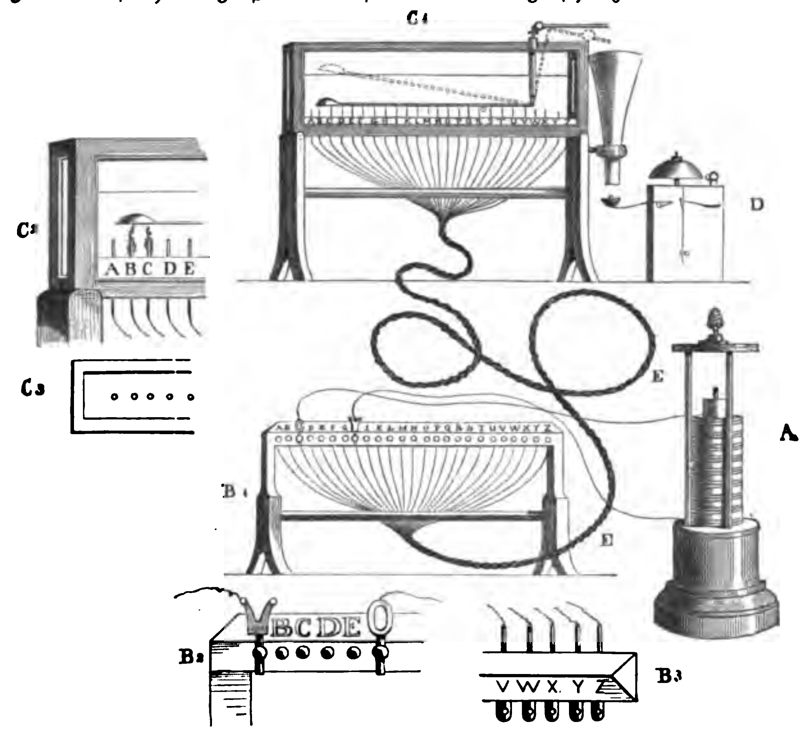


Fig. 416. Der erste galvanische Telegraph von Sömmering.

Er teilte den Wunsch, von der Akademie Vorschläge zu Telegrapheneinrichtungen gemacht zu bekommen, am 5. Juli 1809 über Tafel dem anwesenden Sömmering, einem Mitgliede jener wissenschaftlichen Korporation, mit, und mit welcher Lebhaftigkeit und Ursprünglichkeit der Gelehrte dieser Anregung nachhing, zeigt das Tagebuch desselben, in welchem bereits unterm 8. Juli, also nur drei Tage später, zu lesen ist:

„. . . nicht ruhen können, bis ich den Telegraphen durch Gasentbindung realisiert.“

Sömmering ging gleich von der Idee aus, den durch die Voltasche Säule entwickelten elektrischen Strom für die Telegraphie zu verwenden, und zwar war es der Gedanke an die wasserzersetzende Kraft, welche sich ihm als besonders fruchtbar darstellte. Es kam darauf an, zu untersuchen, bis auf welche Entfernung sich die chemische Wirkung übertragen ließ. Am 9. Juli gelang, wie sein Tagebuch mitteilt, die Gasentbindung bis auf eine Entfernung von 12 m, am 16. Juli zersetzte er bis auf 52 m Entfernung, am 8. August auf 313 m das Wasser, und drei Tage darauf konnte er es aussprechen, „der Telegraph gelingt“. Die von Sömmering angewandte Säule war aus Silber (Brabanter Thalern) und Zink zusammengesetzt und bestand aus 15 Gliedern; als feuchte Leiter dienten Filze, mit

etwas Salzwasser befeuchtet. Die vollständig ausgearbeitete Vorlage empfing die Akademie am 26. August 1809.

Die Abbildung (Fig. 415) wird zeigen, in welcher Art der Sömmeringsche Telegraph eingerichtet war. Sie ist einem Schriftchen entnommen, durch welches der Sohn des verdienten Forschers die lange vernachlässigten und verkannten Ansprüche seines Vaters an den großartigsten Erfindungen unsres Jahrhunderts diesem vor der Welt mit Recht gewahrt hat, da auf keinem Gebiete bisher der deutsche Name überhaupt weniger genannt worden ist, als auf dem der Telegraphie, und doch keine Nation als gerade die deutsche den Stolz haben darf, sich zu sagen: du hast die Idee geboren, du hast sie erzogen und gebildet fürs Leben, und wenn sie der Welt nützt, so verdankt dies die Welt dir.

Wie Fig. 415 zeigt, bestand der erste galvanische Telegraph aus folgenden Teilen: 1) der Voltaschen Säule A; 2) dem Alphabet B_1, in welchem den 24 Buchstaben einzelne Drähte entsprechen, die mit der Säule in leitende Verbindung gesetzt werden können dadurch, daß man das Ende des Poldrahtes in die durchlöcherten Stifte steckt, welche bei B_2 in etwas vergrößerter Darstellung und bei B_3 von oben gesehen gezeichnet sind; 3) dem Kabel E, bestehend aus den unter sich isolierten 24 Drähten der Station B; 4) einem dem Apparat B ganz entsprechend zusammengesetzten Alphabet C_1 auf der Empfangsstation, wo die wieder vereinzelten Buchstabendrähte durch den Boden eines Glastrogs gehen, der mit Wasser gefüllt wird; in C_3 sehen wir denselben im Grundriß; endlich 5) dem Wecker D, dessen Hauptteil, den an einem Hebel sitzenden Löffel, uns C_2 etwas vergrößert vorführt.

Wollte nun Sömmering mit diesem Apparat telegraphieren, so gab er erst dem Empfänger der Depesche mittels des Weckers das Zeichen „Achtung“, indem er die beiden Poldrähte in die Ösen der Buchstaben B und C steckte. Der Strom geht, nehmen wir an im Drahte B, durch das Kabel E und auf der entfernten Station durch die Flüssigkeit von B nach C im Drahte C des Kabels wieder zurück in die Säule. Beim Durchgange durch die Flüssigkeit im Glastroge C_1 aber wird hier das Wasser zersetzt, es entwickeln sich, wie es C_2 zeigt, aus den Drahtenden B und C Gasbläschen, die sich unter dem Löffel ansammeln und diesen endlich in die Höhe heben, so daß er in die durch die punktierte Linie angedeutete Lage kommt. Bei dieser Stellung rutscht eine aufgesteckte Bleikugel infolge ihrer Schwere von dem Drahte ab und fällt in einen Trichter, der sie auf eine mit der Auslösung des Weckers D in Verbindung stehende Schale leitet und das Schlagwerk dadurch in Bewegung setzt. Dieser Wecker wurde von Sömmering am 24. August 1810 erfunden, nachdem viele Versuche, den gesuchten Effekt zu erreichen, fehlgeschlagen waren.

Ist also auf dieser Station alles zur Entgegennahme der Depesche bereit, so beginnt der Absender die beiden Poldrähte so zu versetzen, daß sie der Reihe nach sämtliche Buchstaben der Depesche berührt und sie auf der Endstation durch Gasentwickelung bemerklich gemacht haben. Soll z. B. das Wort „Hochflut“ telegraphiert werden, so wird der eine Draht mit dem H, der andre mit dem O verbunden und eine kurze Zeit wirken gelassen; darauf wird C und H, dann F und L, endlich U und T und schließlich noch das Zeichen für den Punkt kombiniert. Da an dem negativen Pole die Gasentwickelung viel lebhafter ist als an dem positiven, so ist hierin gleich ein Unterscheidungszeichen gegeben, um sich in der Reihenfolge der beiden telegraphierten Buchstaben nicht irren zu können; es darf nur immer derjenige, an welchem die meisten Blasen aufsteigen, zuerst gelesen werden.

Gleich nach seiner Erfindung legte Sömmering den Telegraphen, wie schon erwähnt, der Münchener Akademie und bald darauf (am 5. Dezember 1809) durch den Oberinspektor des Medizinalwesens der französischen Armee Larrey dem Nationalinstitut (Akademie der Wissenschaften) in Paris vor. In Paris wurde nun zwar eine Kommission zur Prüfung der Erfindung ernannt, in welcher die Namen Monge, Biot, Carnot u. a. glänzten, allein man ging mit dem Gefühl, in dem Chappeschen Telegraphen etwas Unübertreffliches zu besitzen, stolz über die ganze Sache hinweg, und selbst Napoleon, der doch zuerst den Nutzen eines solchen Verkehrsmittels hätte einsehen sollen, nannte das Ganze verächtlich eine deutsche Schwärmerei.

Obwohl nun von der Praxis im Stich gelassen — denn auch in Bayern regte sich niemand für eine Ausführung der galvanischen Telegraphie im großen — setzte Sömmering seine Versuche doch fort und führte den Telegraphen auch wirklich aus, soweit es ihm eben

die Umstände gestatteten. Er telegraphierte am 4. Februar 1812 durch eine Drahtlänge von 1255 m, am 15. März durch 3138 m mit gleich günstigem Erfolge, und solange Sömmering in München war (bis 1820), haben viele Besucher sich von der Thätigkeit der nun schon ziemlich alten Erfindung überraschen lassen. Sömmering, dem mehr die allgemeine Einführung als pekuniärer Vorteil am Herzen lag, war auf das gefälligste bereit, Modelle seines Telegraphen an andere abzulassen, und so kam durch den russischen Gesandten Grafen Potocky auch ein solches nach Wien, wo der Kaiser, über den Erfolg aufs höchste erfreut, eine telegraphische Verbindung zwischen Wien und Laxenburg herstellen lassen wollte. Einen andern Telegraphen nahm der bekannte Luftschiffer Robertson mit nach Paris, ein dritter kam nach Genf, wo sich gerade Sömmerings Sohn Wilhelm aufhielt.

Nirgends aber machte sich die Unternehmungslust rege. Das direkte Bedürfnis verlangte eine so schnelle Kommunikation noch nicht, und die erste Veranlassung zu der Erfindung überhaupt, der Krieg, war vorüber. Die gelehrte Welt aber, welche durch Larreys Bericht in den Bulletins der Medizinischen Gesellschaft mit der so glänzenden Anwendung des Galvanismus bekannt gemacht worden war, sah wie so oft mit der Lösung der Frage ihr Interesse daran als vollständig befriedigt an, soweit sie überhaupt je ein Interesse daran gehabt hat. Alexander von Humboldt, Schweigger und Gauß sind fast die einzigen, von denen wir wissen, daß sie dem Sömmeringschen Apparat eine ernstliche Aufmerksamkeit zugewandt haben. In England schrieb Dr. Thomas Thomson sogar 1816 noch in den von ihm herausgegebenen „Annals of Philosophy“, ohne Sömmerings in irgend einer Weise Erwähnung zuthun: der Professor Dr. Redmann Coxe in Philadelphia habe die Idee ausgesprochen, der Galvanismus müsse sich zum Telegraphieren anwenden lassen, die Ausführung dieser „grillenhaften“ Spekulation würde jedoch noch viel Zeit erfordern.



Fig. 417. Karl Friedrich Gauß.

Es ist dies um so merkwürdiger, als viele Engländer den Sömmeringschen Telegraphen in München gesehen haben mußten. Ein Modell war wohl damals noch nicht nach England gekommen, aber auch dasjenige, welches Sömmering später dem Legationssekretär Lyonel Hervey auf dessen Ansuchen bereitwilligst übersandte, wurde wieder zurückgeschickt, ohne daß man der Sache weitere Aufmerksamkeit gewidmet hätte.

Die Apathie, welche Sömmering überall entgegentrat, ist um so unerklärlicher, da die Kosten seines Telegraphen lange nicht so bedeutend waren als die der optischen, mit deren Einrichtung man doch damals überall vorging. Schweigger hatte sogar durch die Reduktion der Drähtezahl auf 2 statt 24 es ermöglicht, daß die Meile Leitung durchschnittlich nicht mehr als 300 Mark zu stehen kam, während für die Meile des optischen Telegraphen zwischen Berlin und Köln das Achtfache aufgewendet werden mußte.

Die Richtigkeit einer Idee sichert ihr noch nicht die allgemeine Aufnahme, die Menge will gestoßen und geschoben sein, und deswegen treten in der Geschichte der Erfindungen oft diejenigen, welche mit unermüdlicher Energie lediglich für die Durchführung des Gedankens kämpfen, heller hervor als die, welche den Gedanken selbst hervorbrachten. Wir

sehen Sömmering von der ganzen Bedeutsamkeit seiner Erfindung erfüllt und überzeugt, daß er, wie er an Humphry Davy schreibt, noch die Legung eines Telegraphenkabels durch den Kanal erleben werde; indessen diese Überzeugung, die vielleicht manche geteilt haben, konnte durch sich selbst allein nicht realisiert werden. Es trug sich aber zu, daß ein russischer Staatsrath, Baron Paul Lawowitsch Schilling von Kannstatt, der Gesandtschaft in München zugeteilt, von dem Sömmeringschen Telegraphen so eingenommen wurde, daß er dessen großartige Anwendung gewissermaßen als seine Lebensaufgabe betrachtete. Sömmering und Schilling wurden zu vertrauten Freunden, leider aber riefen politische Verhältnisse den letzteren schon im Juli 1812 nach Petersburg zurück, und die gemeinschaftlichen Bestrebungen erlitten durch die nun folgenden Weltereignisse eine störende Unterbrechung. Indessen rastete Schilling deswegen nicht. Als durch Oersted der Elektromagnetismus entdeckt worden war, suchte er diese Wirkungsweise des elektrischen Stromes sogleich für die Telegraphie nutzbar zu machen, und hiermit beginnt die dritte Phase des elektrischen Telegraphen.

Die elektromagnetische Telegraphie. Neben Schilling waren es gleich in der ersten Zeit nach den Oerstedschen Versuchen namentlich Ampère (1820) und Ritchie, welche die Ablenkung der Magnetnadel durch den galvanischen Strom zur elektrischen Zeichengebung vorschlugen. Der berühmte französische Physiker wollte 60 Drähte mit 30 Nadeln verbinden. Fechner (1829) in Leipzig, Davy und Alexander in England führten ebenfalls nach verschiedenen Systemen Telegraphen aus, die aber sämtlich unbeachtet geblieben sind. Ebenso rief der erste praktisch ausgeführte und wirklich benutzte elektromagnetische Telegraph, welchen Gauß und Weber 1833 in Göttingen ausführten und womit sie, indem sie aus den Ausschlägen einer Magnetnadel ein Chiffernsystem kombiniert hatten, einander vom physikalischen Kabinett nach der magnetischen Warte Depeschen zuschickten, trotz seiner zweckmäßigen Einrichtung zunächst keine weiteren Nachahmungen hervor. Dieser Telegraph hatte eine 1000 m lange Leitung und war bis 1838 in Gebrauch. Die Nadel bestand aus einem sehr starken und langen Magnetstabe, wie solche zur Bestimmung der Erdmagnetismusverhältnisse benutzt werden, und die Ausschläge wurden seit 1835 mit Magneto-Induktionsströmen bewirkt.

Übrigens ist es im höchsten Grade interessant, in der Geschichte der Entwickelung der Wissenschaften zu sehen, wie alt oft manche Idee, wie frühzeitig sie aufgetaucht und in ihren Folgen erkannt und nur zurückgelegt und vergessen worden ist, weil die Verhältnisse noch nicht Boden genug bieten, in welchem das Körnlein keimen könnte, und keine Bedürftigen vorhanden sind, die nach seiner Frucht verlangen. Wem fällt nicht z. B. die merkwürdige Übereinstimmung auf, welche zwischen den eben besprochenen Apparaten, ihren Zwecken und Einrichtungen und der Idee, welche einer Aufgabe zu Grunde liegt, die in Daniel Schwenters „Mathematisch-philosophischen Erquickstunden“, einem in Nürnberg im Jahre 1636 erschienenen Buche (I, Seite 346) folgendermaßen gestellt und gelöst wird:

„Wie mit dem Magnetzünglein zwo Personen einander in die Ferne etwas zu verstehen geben mögen: ‚Wenn Claudius zu Pariß und Johannes zu Rom wären, auch einer dem andern etwas zu verstehn geben wolte, müste jeder einen Magnetzeiger oder Zünglein haben, mit dem Magnet so kräfftig bestreichen, daß es ein anders von Pariß zu Rom beweglich machen könnte. Nun möchte es sein, daß Claudius und Johannes jeder einen Compasten hätte, nach der Zahl der Buchstaben in dem Alphabeth getheilet, und wolten einander etwas zu verstehen geben, allezeit um 6 Uhr des Abends. Wann sich nun das Zünglein $3^1/_2$ Mal umgewendet von dem Zeichen, welches Claudius dem Johannes gegeben, sagen wollte: Komm zu mir, so möchte er sein Zünglein still stehen oder bewegen machen bis in das k, danach auf dem o, drittens auf dem m u. s. f., wann nun eben in solcher Zeit sich des Johannes Magnetzünglein auf gedachte Buchstaben ziehet, könnte er leichtlich des Claudii Begehren verzeichnen und ihn verstehen. Die Invention ist schön, aber ich achte nicht darvor, daß ein Magnet solcher Tugend auf der Welt gefunden werde. Ich vor meine Person halte es mit dem Authore, glaube auch nicht, daß ein Magnet nur für 2 oder 3 Meil solte solche Krafft haben, es kämen dann diejenigen Steine darzu, deren ich in meiner Steganographia gedacht.‘“

Dieselbe Idee findet sich übrigens auch in Kirchers „De arte magnetica“.

Ist in diesen Auseinandersetzungen nicht das Wesen unsres Telegraphen völlig enthalten? Freilich, aber es ist doch etwas andres um eine schillernde Blase, die dem Gehirn zufällig entsteigt, und etwas andres um die bewußte Ausbildung eines Gedankens, der Können und Wollen in Rechnung zieht, und wenn er beides einander zu entlegen findet, nach Mitteln und Wegen forscht, sie einander zu nähern. Geistreich ist jene frühzeitige Idee jedenfalls, aber befruchtend hat sie sich während der zweihundert Jahre, die sie alt geworden war, nicht gezeigt. Ja, von denjenigen, denen wir die Erfindung der elektromagnetischen Telegraphie verdanken, hat wahrscheinlich keiner von ihr besondere Notiz genommen. Am allerwenigsten Schilling, der sich mittlerweile auf seine Güter zurückgezogen hatte und sich hier mit der Vervollkommnung des elektromagnetischen Telegraphen beschäftigte. Wann er eigentlich seinen Apparat erfunden hat, ist nicht ganz genau zu bestimmen. In der historischen Abteilung für Erfindungen der Wiener Weltausstellung von 1873 war eine beglaubigte Abbildung des Schillingschen Telegraphen zu sehen, wie derselbe von der Akademie der Wissenschaften noch aufbewahrt wird. Der Erfinder soll bereits 1832 den Apparat ausgeführt haben, und diese Angabe, die durchaus nicht bezweifelt zu werden braucht, da, wie oben erwähnt, Schilling, der 1837 starb, sich mit der Idee schon seit 1811 trug, wäre insofern von Wichtigkeit, als sie ein früheres Datum konstatiert, als dem Gaußschen Telegraphen zukommt. Immerhin bleibt aber der letztere derjenige, der über das Modell hinaus zuerst die praktische Nutzbarkeit belegte. Denn von dem Schillingschen Telegraphen erfuhr man Ausführlicheres erst auf der Versammlung der deutschen Naturforscher und Ärzte am 23. September 1835 durch den Vorsitzenden der Abteilung für Physik und Chemie, Professor der Physik Muncke aus Heidelberg. Durch diesen Physiker wurde der Schillingsche elektromagnetische Telegraph weiter bekannt, da jener späterhin damit in seinen Vorlesungen vor einem großen Auditorium Versuche anstellte.



Fig. 418. Karl August Steinheil.

Das Prinzip des Schillingschen Apparates war dem Schweiggerschen Multiplikator entnommen; durch die Ausschläge von fünf Magnetnadeln wurden Zahlen telegraphiert, über deren Bedeutung ein Ziffernlexikon Auskunft gab. Muncke telegraphierte mit einem solchen Apparat, dessen Draht durch mehrere Gänge und Säle lief. In der Folge soll Schilling einen Apparat mit nur einer einzigen Nadel konstruiert haben.

Einer solchen Munckeschen Vorlesung wohnte denn auch einmal am 6. März 1836 ein Engländer William Fothergill Cooke bei, der selbstgeständlich von physikalischen Experimenten gar keine Idee hatte. Er war durch einen Landsmann auf die merkwürdige Wirksamkeit der neuen Erfindung aufmerksam gemacht worden. Überrascht von dem frappanten Erfolge, ließ er, da augenblicklich in ihm die Idee einer praktischen Ausbeutung auftauchte, ein Modell des Schillingschen Telegraphen bauen, mit welchem er sich nach London begab. Es geschah dies zu einer Zeit, bis zu welcher die Engländer von dem elektrischen Telegraphen nicht viel gehört oder wenigstens von dem Gehörten nicht viel gehalten hatten. Cooke aber faßte die Sache richtig an. Er wandte sich an den berühmten Physiker Wheatstone und legte diesem, nachdem er von Faraday abgewiesen worden war, den

„Möndeschen Telegraph", wie er ihn aus Unkenntnis des Namens Muncke nannte, vor, um gemeinschaftlich für die Einführung der elektrischen Telegraphie in England zu wirken (27. Februar 1837). Wheatstone und Cooke trafen denn auch eine Vereinbarung und nahmen im Mai 1837 zusammen ein Patent auf eine Verbesserung (improvement) des elektrischen Telegraphen, infolgedessen auch am 25. Juli der erste größere Versuch gemacht und durch einen mehrere Kilometer langen Draht telegraphiert wurde, der, zum Teil in einem großen Gebäude hin und her gehend, zum Teil 9 km längs der Birminghamer Eisenbahn von Euston Square bis Cambden Town aufgespannt war.

Der Versuch gelang in ausgezeichneter Weise, und der elektrische Telegraph bildete von jetzt ab das Tagesgespräch. Cooke und Wheatstone waren in aller Munde, während niemand des eigentlichen Erfinders gedachte, der gerade in diesen Tagen (6. August) starb, wahrscheinlich ohne von den Erfolgen seines Apparates eine Ahnung zu haben. Wäre Schilling länger am Leben geblieben, so würde die Entwickelung des Telegraphenwesens auf dem Kontinent gewiß eine bedeutend raschere gewesen sein, als es so der Fall war, denn die Ausführung einer Leitung, mittels welcher er Kronstadt mit Peterhof durch den Finnischen Meerbusen in telegraphische Verbindung setzen wollte, wurde natürlich infolge seines Ablebens in ungewisse Zukunft versetzt und damit ein überzeugender Beweis für die Nutzbarkeit der Erfindung der Welt vorenthalten. Übrigens war die Idee in Deutschland nicht so ganz unbeachtet geblieben. Professor Karl August Steinheil in München war durch Gauß angeregt worden, der elektromagnetischen Telegraphie seine Aufmerksamkeit zuzuwenden, und wir werden bald Gelegenheit haben, zu sehen, mit welch großartigem Erfolge für die Praxis er dies gethan. Außerdem hatten auch v. Jacquin und Andreas v. Ettingshausen bereits 1836 in Wien durch mehrere Straßen hindurch teils durch die Luft, teils unter der Erde weg eine Telegraphenleitung ausgeführt.

Wenn die Engländer Wheatstone und Cooke für die Erfinder halten, so ist dies mehr einer entschuldbaren nationalen Eitelkeit zuzuschreiben, als etwa von Wheatstone selbst erhobenen Ansprüchen. Im Gegenteil bezeichnet dieser Gelehrte in der Beschreibung des Apparates, welche der Erlangung des Patents wegen eingereicht wurde, sein Werk ausdrücklich nur als eine Verbesserung. Cooke hatte sofort nach seiner Bekanntschaft mit dem bei Muncke gesehenen Telegraphen sich an die Ausführung von Verbesserungen gemacht, und daß er ein nicht ungewöhnliches Erfindertalent auch hatte, beweisen die Konstruktionen, die er fast unmittelbar entwarf. In der ersten Hälfte des März schon soll er noch in Frankfurt einen dem Schillingschen ähnlichen Nadeltelegraphen mit drei Nadeln und sechs Drähten entworfen haben, dann versuchte er die Herstellung von Zeigertelegraphen, wobei er zuerst die den Spieldosen zu Grunde liegende Idee mit drehenden Walzen verfolgte, die indessen wegen der Notwendigkeit eines vollständigen Synchronismus der Umdrehungen auf beiden Stationen zu große Schwierigkeiten bot, und die er deshalb aufgab, um das Prinzip eines Pendels aufzunehmen, das zwischen zwei Elektromagneten hin und her bewegt wird und mit einem Anker wie in der Pendeluhr in die Zähne eines Steigrades eingreift und dieses zahnweise umdreht. — Den einzelnen Zähnen entsprachen die Buchstaben des Alphabets, welche, an dem Umfange des Rades angebracht, vor einer Öffnung im Schirm vorbeipassierten. So weit war Cooke, als er sich mit Wheatstone verband.

Der Schillingsche Telegraph hatte, wie bereits erwähnt, fünf horizontal schwingende Magnetnadeln, deren jede eine kleine, senkrecht stehende, auf beiden Seiten verschieden bezeichnete Papierscheibe trug. Im Ruhestande drehte diese Scheibe dem Beobachter die scharfe Seite zu, sie wurde erst sichtbar, wenn die Nadeln durch den Strom nach irgend einer Seite abgelenkt wurden. Mittels der so darstellbaren zehn Zeichen konnte man eine große Zahl von Kombinationen zusammensetzen, denen man die Bedeutung von Buchstaben und Zahlen beilegte.

Wheatstone gab den Nadeln eine vertikale Stellung und ordnete sie so nebeneinander an, daß mittels einer Tastatur der Strom allemal zwei bestimmten zugeführt wurde, und diese, je nachdem, nach oben- oder untenhin miteinander konvergierten. Indessen adoptierten Wheatstone und Cooke, da die Fünfnadeltelegraphen noch sehr unbequem waren, das Gauß-Webersche System mit einer einzigen Nadel, so daß durch die Zahl der Zuckungen der Nadel der betreffende Buchstabe markiert wurde.

Die vorstehende Fig. 418 zeigt uns die äußere Form, welche der nach England verpflanzte Telegraph auf diese Weise erhielt. Der sichtbare Zeiger steht mit der Nadel im Innern des Gehäuses in Verbindung, welche durch einen vertikal stehenden Multiplikator zum Ausschlagen gebracht wird. Um nun nicht nur Depeschen empfangen, sondern auch Zeichen geben zu können, ist der Handgriff in Verbindung mit der Batterie oder dem Magnet eines Induktionsapparates gesetzt, und man bewirkt durch seine Drehung nach einer oder der andern Seite einen Strom, welcher in demselben Sinne die Magnetnadel auf der entfernten Station ablenkt. Das Ziffernsystem ist auf der Vorderseite des Gehäuses verzeichnet, und man sieht daraus, daß eine Ausweichung nach links „Achtung!", eine nach rechts m, zwei nach links a, drei nach links b, vier nach links c, dagegen zwei nach rechts n, drei nach rechts o, vier nach rechts p bedeuten; eine Zuckung links und eine gleich darauf folgende rechts heißt d, zwei links und eine rechts e, erst eine rechts und dann eine links ist r ꝛc.

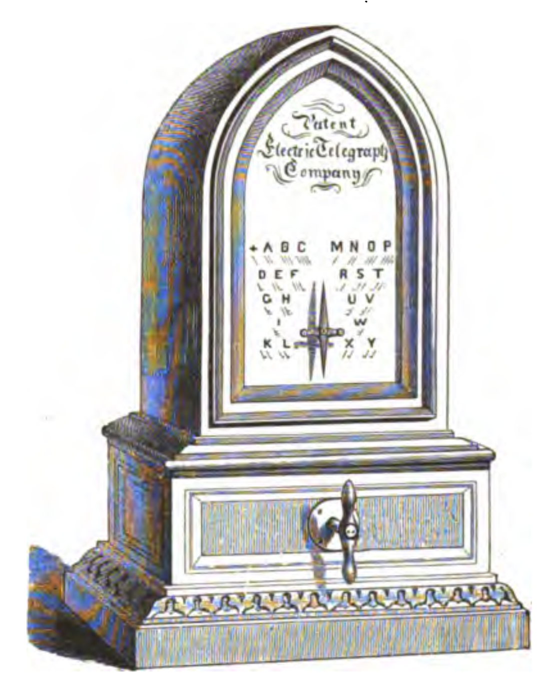


Fig. 419. Der Nadeltelegraph von Wheatstone und Cooke.

Nach diesem einfachen Apparate verbanden die Patentinhaber zwei Nadeln zu dem sogenannten Doppelnadeltelegraphen, welcher im Grunde nichts Neues enthält und nur den Vorteil bietet, daß man mit drei Ausweichungen ebensoviel Zeichen geben kann als vorher mit vier.

Aus Fig. 419 wird die Einrichtung des dabei befolgten Ziffernsystems ersichtlich, wenn man den Ort, wo die betreffenden Zeichen oder Buchstaben stehen, für die Richtung des Ausschlags und die Wiederholung der Buchstaben für die Zahl der Ausschläge maßgebend sein läßt. Ein einmaliger Ausschlag der linken Nadel nach links bedeutet also +, das Zeichen für Achtung oder für die Beendigung eines Wortes; ein zweimaliger nach links bedeutet a, ein dreimaliger links b, dagegen ein dreimaliger Ausschlag nach links der rechten Nadel k u. s. w. Die obenstehenden Zeichen werden mit einer Nadel, die untenstehenden mit beiden zusammen hervorgebracht.

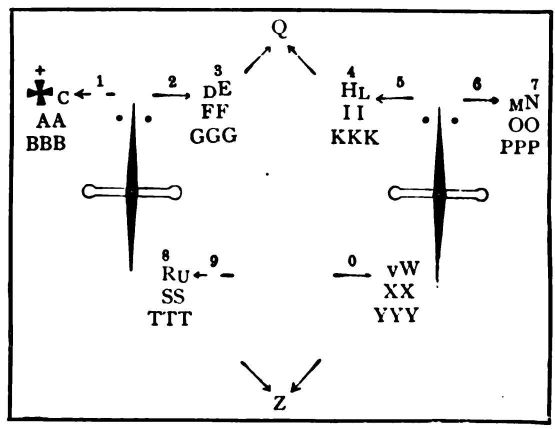


Fig. 420. Doppelnadeltelegraph von Wheatstone und Cooke.

Das Telegraphieren mit Nadeln, wie es von Schilling, ferner von Gauß und Weber erfunden worden war, hatte zwei Übelstände: einmal konnte es nur von solchen ausgeführt werden, welche das eigens dafür erfundene Alphabet erlernt hatten, so daß sie geschwind in demselben lesen und schreiben konnten; sodann aber war man, weil der Telegraph nichts Dauerndes markiert, mit der Sicherheit und Genauigkeit der erhaltenen Depesche lediglich auf die Aufmerksamkeit des beobachtenden Beamten angewiesen.

Vorzüglich der letztgenannte Umstand war es, der den Professor **Steinheil** in München, welcher sich von Anfang an viel mit der Telegraphie beschäftigt hatte, veranlaßte, sein Augenmerk auf die **Schreibtelegraphen** zu richten, und bevor Wheatstone und Cooke ihren ersten größeren Versuch ausführten, war bereits Steinheil mit seinem Apparate fertig (Mitte Juli 1837). Er hatte die Leitung von seinem Hause in der Lerchenstraße nach dem Gebäude der Akademie der Wissenschaften und von dort nach dem Observatorium in Bogenhausen angelegt. Die Drähte gingen oberirdisch teils auf Pfählen, teils über die Häuser der Stadt.

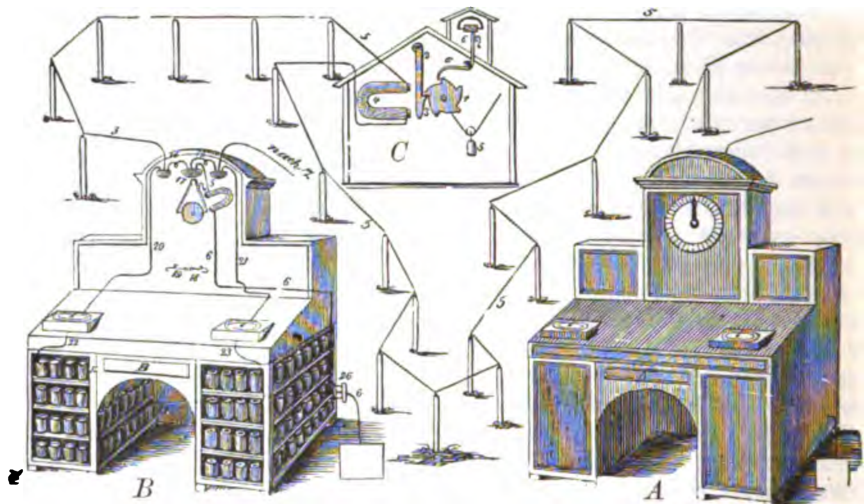


Fig. 421. Schema des Zeigertelegraphen von Wheatstone.

Die Magnetnadeln trugen an ihren Enden kleine Farbenpinsel oder Näpfchen, aus denen die Farbe etwas heraussickerte, und drückten bei dem Ausschlage damit gegen einen Papierstreifen, der sich mit Hilfe eines Uhrwerks in fortwährend gleichbleibender Geschwindigkeit vorbeibewegte.

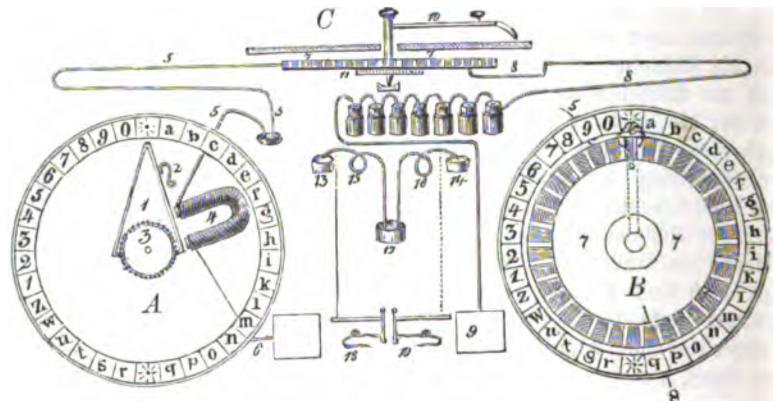


Fig. 422. Meldescheibe und Zeichengeber des Wheatstoneschen Zeigertelegraphen.

Außerdem aber hatte Steinheil akustische Signale angebracht, indem er die Nadeln gegen Glöckchen von verschiedener Tonhöhe anschlagen ließ, so daß Auge und Ohr sich gegenseitig kontrollieren konnten.

Wie bei dem Gauß-Weberschen Telegraphen wurde auch hier der elektrische Strom durch einen Rotationsapparat hervorgebracht, und nicht nur dies, sondern auch der zeichenempfangende, bewegte Papierstreifen — ein jetzt noch unentbehrliches Requisit der Telegrapheneinrichtung — ist also wiederum eine deutsche Zugabe.

Der Zeigertelegraph. Die Versuche Cookes zur Konstruktion eines Zeigertelegraphen, welche bis in das Jahr 1836 zurückgehen, haben wir schon erwähnt; Cooke setzte dieselben fort und fand für seinen Apparat Ende 1839 eine verbesserte Form. Mittlerweile hatte nun Wheatstone die glückliche Idee gehabt, die Wirkung des elektrischen Stromes mit der Wirkung eines fallenden Gewichts oder einer Federkraft zu kombinieren, und Davy hatte diesen Gedanken in der Art zu glücklicher Ausführung gebracht, daß der elektrische Strom den Anker eines durch das Gewicht getriebenen Steigrades auslöste und wieder arretierte. Aber der Zeigertelegraph, welchen Davy darauf konstruiert hatte und auf welchen er am 4. Januar 1839 ein Patent nahm, war in seiner sonstigen Einrichtung zu kompliziert, so daß sein glücklicherer Patentkollege Wheatstone jenen Apparat das Jahr darauf durch eine zweckmäßigere Konstruktion ersetzen konnte, welche ihm nun patentiert wurde. Wheatstone setzte mit dem Steigrade einen Zeiger in Verbindung, welcher auf dem Umfange einer mit Buchstaben und Zahlzeichen beschriebenen Scheibe hinglitt und so die wünschenswerte Mitteilung direkt buchstabierte, indem er auf dem betreffenden Zeichen zum Anhalten gebracht wurde. Es heißen daher auch die in England noch gebräuchlichen Apparate allgemein die Wheatstoneschen Zeigertelegraphen.

Da dieser Apparat einer ganzen Klasse von Telegraphen zum Ausgangspunkt gedient hat, so ist es wohl am Platz, einige Worte über das Wesentliche seiner Einrichtung hier anzubringen und das zu Sagende durch einige Abbildungen zu illustrieren. Selbstverständlich geben wir damit nur ein schematisches Bild, in der praktischen Ausführung zeigen die einzelnen Teile des Apparates, wie an den folgenden Abbildungen zu sehen ist, ein ganz andres Aussehen. War bei den Nadeltelegraphen eine Magnetnadel, welche durch den elektrischen Strom beeinflußt wurde, so ist hier ein Stück weiches Eisen, das durch den Strom zeitweilig zu einem Magneten gemacht wird, die Hauptsache. Durch abwechselndes Schließen und Öffnen der Kette, in welche die Spirale des Elektromagneten eingeschaltet ist, wird ein vor dem letzteren liegendes bewegliches Stück Eisen, der Anker, bald angezogen, bald wieder ausgelassen, also eine doppelte Bewegung desselben bewirkt, die in verschiedener Weise zur Sichtbarmachung der Zeichen verwendet werden kann.

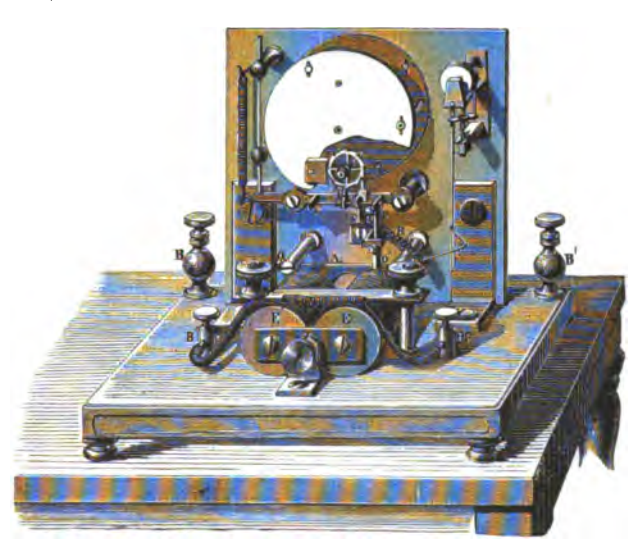


Fig. 423. Zeigertelegraph (Rückseite).

In unsrer ersten Abbildung (Fig. 421) stellt A den Aufgabeort, B den Empfangsort der Depesche dar, gleichviel ob die beiden Endstationen 5 oder 500 Meilen voneinander liegen. Dazwischen sollen einzelne Stationen noch eingeschaltet sein, wie es C, ein einfaches Wärterhäuschen, andeutet. Der die Leitung vermittelnde Draht ist mit 5 bezeichnet und auf Stangen von einer Station zur andern fortgeführt. Die Apparate sind auf allen Stationen gleich. A gibt eine Ansicht von der äußeren, B eine solche von der inneren Einrichtung eines solchen älteren Telegraphenapparates. Die galvanische Batterie, welche selbstverständlich auch durch einen Rotationsapparat ersetzt werden kann, befindet sich in dem unteren Teile des Arbeitspultes.

Die hauptsächlichsten Bestandteile des eigentlichen Telegraphierapparates sind in der zweiten Abbildung (Fig. 422) etwas größer dargestellt. Darin ist A die am Pult bemerkbare zifferblattähnliche Scheibe, welche an ihrer Peripherie 22 Buchstaben — x und y fehlen, für v und w gilt dasselbe Zeichen — und zehn Zahlzeichen trägt, zwischen denen zu

oberst und zu unterst Sternchen eingeschaltet sind. Diese Scheibe führt den Namen **Meldescheibe**, zum Unterschiede von dem im Äußeren ganz ähnlichen **Zeichengeber** C (in B von oben gezeichnet), welcher auf der Fläche des Pultes angebracht und durch die Hand des Beamten bewegbar ist, während der Zeiger der Meldescheibe nur von der andern Station aus durch Öffnen und Schließen der Kette gerückt wird. Der Zeiger sitzt nämlich vorn an einer durch den Mittelpunkt der Scheibe gehenden drehbaren Achse, welche wie die Zeigerachse der Uhren im Innern ein Steigrad hat, in das ein Anker (wie 1 in Fig. 422) zu beiden Seiten eingreift. Die Zähne des Ankers sind so gestellt, daß immer einer in das Rad greift und dieses bei der hingehenden Bewegung des Ankers um einen Zahn und ebenso wieder um einen bei der hergehenden Bewegung vorwärts rücken kann. Es wird nun aber jedesmal, wenn ein Strom durch den Draht geht, das Hufeisen 4 magnetisch, der Anker wird angezogen und das durch ein fallendes Gewicht gespannte Rädchen 3 rückt folglich einen Zahn weiter; wird die Kette wieder geöffnet, so drückt die Feder 2 den rechten Schenkel des Ankers von dem nun nicht mehr magnetischen Hufeisen ab, wobei das Rädchen um den zweiten Zahn vorwärts geschoben wird. Jeder Strom bewirkt also durch Schließen und Öffnen ein Fortrücken um zwei Zähne, und da das Rad doppelt so viel Zähne hat, als auf der Meldescheibe Zeichen angebracht sind (hier 68), so geht der mit dem Rädchen 3 fest verbundene Zeiger auf der Meldescheibe jedesmal um einen Buchstaben weiter.

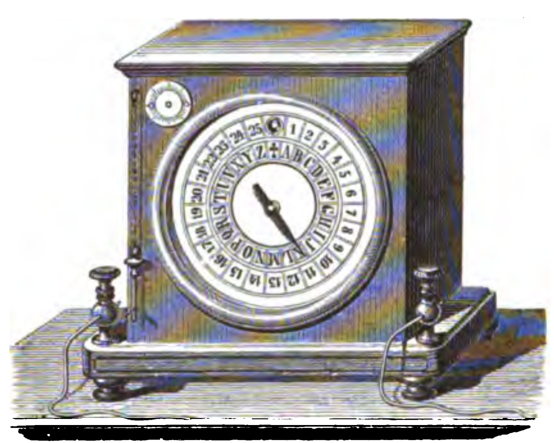


Fig. 424. Zeigertelegraph (Vorderseite).

Der Beamte in A (Fig. 421) hat seinen Zeichengeber rechts vor sich auf der Fläche des Pultes, und durch die vollkommene Übereinstimmung der inneren Werke ist es sicher, daß genau dieselben Buchstaben, welche er mit seinem Zeiger berührt, auf der Meldescheibe in B angezeigt werden.



Fig. 425. Der Manipulator.

Die Einrichtung des **Zeichengebers** ersehen wir aus Fig. 422, wo man diesen wichtigen Teil des Apparates sowohl von oben (B) als im Durchschnitt (C) gezeichnet erblickt. In dieser letztgenannten Durchschnittszeichnung bedeutet 7 eine kupferne Scheibe, deren Umfang 34 Zähne hat, so daß der durch den darauf schleifenden Leiter 5 übertragene Strom 34mal unterbrochen wird. Die Zwischenräume zwischen den Zähnen sind mit Holz, Horn, Elfenbein oder einer andern ähnlichen, nicht leitenden Substanz ausgefüllt. Der Strom selbst geht aus der Batterie durch den Draht 8 in die kupferne Scheibe und wird also, wenn dieser Schließungsdraht auf einen metallenen Zahn trifft, weiter zu dem Elektromagnet 4 geführt. Nachdem er dessen Windungen durchlaufen hat, strömt er durch den Draht 6 der Erdplatte zu, und geht, durch die Erde weitergeleitet und auf der andern Station dann wieder von der Erdplatte 9 aufgenommen, in die

Batterie zurück. Jedes Fortrücken des Zeichengebers 10 und damit der Scheibe um einen Zahn entspricht also einem Weiterrücken des Zeigers auf der Meldescheibe um einen Buchstaben.

Wie man aber mit einem telegraphischen Apparat, nach Art des in Fig. 421 dargestellten, im stande ist, jeden Augenblick von A und einem andern Orte, den wir Z nennen wollen, sowohl telegraphische Nachrichten zu empfangen als auch solche dahin abzusenden, das ist aus Fig. 422 ersichtlich. Es tauchen nämlich die von A und Z kommenden Drähte 15 und 16 in kleine Quecksilbernäpfchen (wie sie in Fig. 422 unter 13 und 14 deutlicher dargestellt sind); aus diesen führt wieder je ein Leitungsdraht in ein drittes Näpfchen 17, von wo dann der Draht um den Elektromagneten sich windet. Der Magnet kann somit seine Erregung von zwei Seiten her empfangen, und um nach einer bestimmten Richtung hin zu telegraphieren, schaltet man aus dem gemeinschaftlichen Quecksilbernäpfchen nur den betreffenden Leitungsdraht aus.

Übrigens sind die Apparate noch mit Weckern und andern Hilfsvorrichtungen versehen, auf deren nähere Beschreibung wir uns nicht einlassen können. Ebensowenig dürfen wir es für unsre Aufgabe ansehen, die vielerlei Verbesserungen oder nur Veränderungen anführen zu wollen, welche verschiedenen Absichten zu Gefallen ausgeführt und hier und da in Anwendung gekommen sind. In Deutschland haben diese Zeigertelegraphen nicht sofort Aufnahme gefunden, hier war Fardely der erste, der sie baute; Kramer, Stöhrer und besonders Siemens gaben wichtige Verbesserungen an, und es ist in der Geschichte der elektrischen Telegraphen besonders ein von Siemens in Berlin ausgeführter und im Jahre 1846 in Preußen patentierter Zeigertelegraph dadurch merkwürdig, daß er auf Typendruck zugleich mit eingerichtet war.

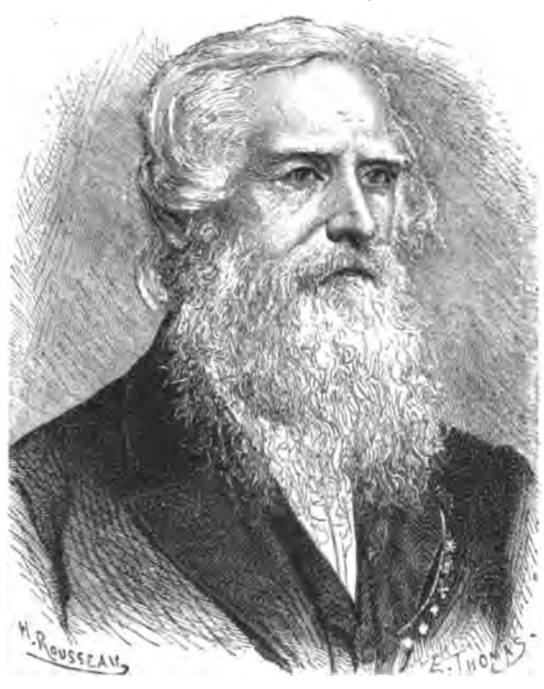


Fig. 426. Samuel Morse.

Das äußere Aussehen der Zeigertelegraphen ist trotz der inneren Verschiedenheiten des Apparates ein ziemlich übereinstimmendes. Die Abbildungen Fig. 423—425 zeigen uns eine Ausführungsweise, wie sie in Frankreich durch Breguet in Aufnahme gebracht worden ist. Fig. 424 erklärt sich durch sich selbst; bezüglich der Abbildung Fig. 423 aber wollen wir bemerken, daß E E den Elektromagnet darstellt, welcher durch seine zeitweilige Erregung das um die Achse OO' bewegliche Eisenstück A anzieht und wieder losläßt, wenn der Strom durch seine Spiralen unterbrochen ist. Die Bewegungen des Ankers A übertragen sich durch den Hebel L auf das Steigrad, welches so eingerichtet ist, daß bei jeder Ausrückung ein Zahn vorbei passiert. Das Steigrad erhält seinen Antrieb durch ein Uhrwerk, das uns durch den kreisförmigen Schirm verborgen wird. Auf der andern Seite sitzt an einer Welle der Zeiger. Der Apparat, mittels dessen die Zeichen gegeben werden, der Manipulator, ist in Fig. 425 dargestellt. Der Hauptbestandteil desselben ist der Hebel AB, der um den Punkt O schwankt, und durch das Ende B mit dem Telegraphendraht L, der durch den Schlüssel N einmündet, in leitender Verbindung steht. Dem andern Arme A steht eine metallene Leitung P' gegenüber, welche durch den Draht P mit der Batterie verbunden ist. Liegt das Ende des Hebelarmes A an P' an, so ist, da das andre Ende B nicht aufhört, in leitender Verbindung mit dem Telegraphendraht L zu sein, die Kette geschlossen und dem Strome der Durchgang durch die Linie gestattet. Sobald aber A von P wieder

losgeht, wird auch der Strom wieder unterbrochen, und dies erfolgt allemal, wenn die Spitze B, die durch einen Stift in einer wellenförmig ausgeschnittenen Rinne geführt wird, welche ihrerseits mit dem Zeiger M verbunden ist und mittels desselben unter dem das Alphabet tragenden Zifferblatte successive hinweggeführt wird, bis der zu telegraphierende Buchstabe erreicht ist, wie in dem Momente, den unsre Abbildung veraugenscheinlicht. Solcher wellenförmigen Ausbiegungen hat die Rinnenscheibe ebensoviel als das Zifferblatt Buchstaben oder sonstige Zeichen trägt, und es leuchtet ein, das die abwechselnden Schließungen und Unterbrechungen des Stromes in der schon entwickelten Art auf der Meldescheibe der Empfangsstation dieselben Buchstaben markieren, die hier durch den Manipulator angegeben werden.

An dem Zeigertelegraphen zu arbeiten erfordert keine besondere Fertigkeit, und für den Eisenbahndienst sind solche Apparate deswegen von gewissen Vorteilen. Indessen ist die Zeitdauer, welche die Absendung einer Depesche verlangt, verhältnismäßig groß, da der Zeiger nur in der einen Richtung bewegt werden kann und, um auf einen im Alphabet zurückliegenden Buchstaben zu gelangen, den ganzen Kreis erst durchlaufen muß. Soll z. B. das Wort amor telegraphiert werden, so genügt zwar ein einmaliges Durchlaufen der Meldescheibe; der Telegraphist hält erst auf dem a inne, läßt dann den Zeiger, indem er elfmal den Strom unterbricht, bis m fortrücken und wartet hier wieder einen Augenblick, geht dann zum o und schließlich zum r, immer in derselben Drehung. Wenn aber das umgekehrte Wort roma annonciert werden soll, so muß er erst das r signalisieren, darauf den ganzen Kreis wieder bis zum o durchlaufen, dann wieder fast einen vollen Umlauf machen, um zum m zu gelangen, und kommt schließlich, nachdem er viermal den Zeiger um die ganze Scheibe geführt hat, mit dem a zum Ende. Diese Beschwerlichkeit hat viel dazu beigetragen, den Morseschen Telegraphen die günstige Aufnahme zu verschaffen, welche sie gefunden haben, und den Namen ihres Erfinders mit einem Glanze zu umgeben, der sich auf ein bescheideneres Maß zurückführen würde, wenn andre, nicht weniger wertvolle Erfindungen auf diesem Gebiete den ihnen gebührenden Anteil auch immer erhalten hätten.


Fig. 427. In einem Telegraphenbureau. Aufgabe der Depesche.

Steinheils Rückleitung. Wir stehen hier gerade an der Stelle, wo wir einer solchen Kapitalerfindung gedenken müssen, die von einem Deutschen gemacht und deswegen vielleicht von seinen Landsleuten als „Pflicht und Schuldigkeit" angesehen, von Fremden aber gar zu gern übergangen wird, obwohl es jetzt auf der ganzen Erde keinen einzigen Telegraphen gibt, der sich ihrer nicht bediente, und obwohl es gerade diejenige Erfindung ist, welche dadurch, daß sie die Einrichtungskosten auf die Hälfte herabsetzte, der Telegraphie überhaupt die größte Verbreitbarkeit gab. Es ist die von Steinheil im Jahre 1838 getroffene Einrichtung, mit einem einzigen Drahte als Leitung zu telegraphieren und die Erde als Rückleitung zu benutzen.

Da die bedeutenden Kosten der doppelten Drahtleitung für die Aufnahme der Telegraphie ein großes Hindernis waren, so versuchte Steinheil die Rückleitung bei Eisenbahntelegraphen durch die ein= für allemal vorhandenen Eisenbahnschienen übernehmen zu lassen und damit den einen Draht zu sparen. Er stellte zu diesem Behufe auf der Eisenbahn zwischen Nürnberg und Fürth Experimente an. Dabei fand er jedoch, daß es gar nicht der Eisenbahnschienen bedürfe, sondern daß man ohne weiteres die Erde in die Leitung einschalten könne, und jetzt führt man nach seiner Angabe allgemein auf der einen Station den positiven, auf der andern den negativen Pol hinab in die Erde, anstatt sie wie früher durch einen besonderen Draht miteinander zu verbinden. Nur ist es notwendig, weil Erde bei gleichem Querschnitt dem elektrischen Strome einen bei weitem größeren Widerstand entgegensetzt als Metall, zwischen die beiden Polenden ein entsprechend dickeres Erdprisma zur Leitung einzuschalten; deswegen läßt man die Drähte in metallene Platten ausgehen, die man dann in den Boden versenkt.


Fig. 428. In einem Telegraphenbureau. Ankunft der Depesche.

Der Morsesche Drucktelegraph. Es ist sehr schwer, aus den von der Ruhmredigkeit der Amerikaner diktierten und von dem allzugroßen Vertrauen der Deutschen immer gläubig aufgenommenen Erzählungen der Morseschen Erfindung das Wahre herauszuschälen; deswegen wollen wir uns vor der Hand nur an Thatsachen und an die Jahreszahlen halten, in denen von Morse wirkliche und nützliche Neuerungen gemacht worden sind. Es darf uns nicht mehr bestechen, wenn es heißt, Morse habe bereits 1832 bei seiner Überfahrt von Europa nach Amerika an Bord des Schiffes „Sully“ den elektromagnetischen Telegraphen erfunden. Morse war in Europa gewesen, um sich als Maler auszubilden, und verstand von Physik und ihrer Anwendung damals noch gar nichts. Hätte auch ein mit auf dem Schiff anwesender Dr. Jackson aus Boston, der die Passagiere bisweilen durch Experimente mit einem Elektromagneten und einer Voltaschen Säule unterhalten haben soll, in Morse die Idee der elektromagnetischen Telegraphie klar hervorzurufen gewußt, so war doch 1837, als die Nachricht von Steinheils telegraphischer Einrichtung in München nach Amerika gelangte, von den Morseschen Versuchen, welche dieser seit 1836 mit einem Professor der Chemie, Dr. Leonhard Gall, angestellt, und worauf er, als die amerikanische Regierung optische Telegraphenlinien einrichten wollte, durch Begünstigung ein schützendes Patent zu erlangen wußte, dem Publikum noch nicht der geringste Erfolg bekannt geworden. Trotzdem reklamierte eine Nachricht in dem „New York Journal of Commerce“ im August 1837 die Ehre der Erfindung der elektromagnetischen Telegraphie mit der größten Anmaßung für Morse, „welcher auf dem Schiffe kein Geheimnis von seiner Idee gemacht und dieselbe den Reisegefährten aller Nationen frei und offen mitgeteilt habe.“ Darauf wurde, um das Publikum von der Existenz der Morseschen Erfindung zu überzeugen, der Telegraph ausgestellt.

Wenn wir erwähnen, daß der Elektromagnet in demselben ein Gewicht von 79 kg hatte, so wird man sich daraus schon einen Begriff von der Unbehilflichkeit der Einrichtung machen können. Die erste Depesche, aus fünf Worten bestehend, kam am 4. September 1837 zustande; zu ihrer Herstellung hatten 143 Zeichen gegeben werden müssen. Es ist kein Irrtum, wenn wir schreiben 1837, statt, wie gewöhnlich geschieht, 1835; die letzte Jahreszahl ist unrichtig und nur dadurch in Umlauf gekommen, daß der Autor des „Telegraph Manual“, welchem die meisten Nachrichten über Morse entnommen sind, sich zu gunsten der amerikanischen Ansprüche das kleine Fälschungsvergnügen gemacht hat, von der in römischen Zahlzeichen geschriebenen Jahreszahl der Depesche 1837 die beiden letzten Striche wegzulassen und dieselbe dadurch in 1835 zu verwandeln.

Alle andern auf die Zeit der Morseschen Erfindung bezüglichen Dokumente leiden an ähnlichen Unsicherheiten. Daß die Sache übrigens in ihrer unvollkommenen Gestalt anfänglich auch bei dem amerikanischen Publikum geringen Anklang fand, wird wohl am besten durch den Umstand bewiesen, daß Morse 1839 wieder zur Malerei und später zum Daguerreotypieren griff. Als endlich in England die Nützlichkeit der elektrischen Telegraphen erprobt war, gewährte auch der Kongreß (im März 1843) die von Morse schon früher verlangte Subvention, und 1844 wurde als erster Versuch Washington mit Baltimore telegraphisch verbunden. Die erste Depesche durchlief den Draht am 27. Mai. Aber die damals angewandten Apparate waren noch höchst mangelhaft, und erst als Morse wieder in Europa gewesen und 1845 aus Frankreich ein Modell mitgebracht, nach welchem er seine Apparate änderte, konnte sein System sich allmählich zu praktischer Bedeutung herausbilden.

Das Morsesche System — und darauf reduzieren sich alle Ansprüche des vielgenannten Mannes — verdankt aber seine allgemeine Verbreitung auch nicht einmal einem neuen originellen Gedanken, vielmehr ist das Charakteristische daran, die Zeichengebung, welche durch einen mittels des Elektromagneten in einen sich bewegenden Papierstreifen gedrückten Stift geschieht, mit manchen früheren Vorschlägen, welche z. B. statt vertiefter Eindrücke farbige Zeichen bezweckten, ungemein nahe verwandt. Am allerwenigsten ist unser Telegraph überhaupt eine Morsesche Erfindung, und das schöpferische Verdienst Morses, gegen das eines Sömmering, Schilling, Steinheil, Weber, Gauß, Wheatstone u. a. gehalten, verschwindet fast gänzlich. Die Morseschen Einrichtungen boten aber gewisse Vorteile der Bequemlichkeit, und da durch sie die Frage nach einem Telegraphen, der bleibende Zeichen gab, für damalige Anforderungen in annehmbarer Weise gelöst wurde, so erfolgte die Adoptierung der Morseschen Apparate fast allgemein; Patente sicherten den Alleinbesitz und machten ihren Inhaber zu einem reichen und berühmten Manne.

Wenn wir uns heute in einem Telegraphenbureau die gebräuchlichen Instrumente zeigen lassen, welche alle Morsesche heißen, weil die Eigentümlichkeit des Schreibstiftes beibehalten worden ist, und fragen, wer diese oder jene Verbesserung angebracht, so werden wir durch die Antworten an Morse selbst kaum mehr erinnert, vielmehr hören wir immer und immer wieder Namen, wie die bereits genannten, und andre, wie Stöhrer, Kramer, Meißner, vor allen Siemens & Halske. Sie sind es eigentlich, welche durch die scharfsinnigsten Erfindungen die Apparate zu ihrer heutigen Vollendung gebracht haben. Eine Besprechung auch nur der hervorragendsten dieser Erfindungen ist leider an dieser Stelle nicht möglich, weil sie technische Auseinandersetzungen verlangt, die uns viel zu weit führen würden. Wir müssen uns begnügen, nur in den hauptsächlichsten Zügen ein Bild von der Wirksamkeit eines solchen Telegraphenapparates zu entwerfen, und wollen dies versuchen, indem wir uns auf die Figuren 427 und 428 beziehen.

In bezug auf das Arrangement im großen Ganzen haben wir nicht nötig, besondere Erläuterungen zu machen. Wir sehen in Fig. 427 die Batterie, welche den Strom erzeugt, und in dem Drahtlaufe die Richtung angedeutet, die er vom Zinkpol aus nimmt. Er tritt zunächst in den Schlüssel, mit welchem der telegraphierende Beamte durch Öffnen und Schließen der Kette sein Zeichen gibt. Aus dem Schlüssel geht er um eine Magnetnadel (Galvanometer), aus deren Verhalten ersichtlich wird, ob überhaupt ein Strom in der Kette erregt wird oder nicht; dann durchläuft er eine eigentümliche Vorrichtung, den Blitzableiter, bestimmt, den Telegraphierenden eventuell vor den gefährlichen Wirkungen der

atmosphärischen Elektrizität zu schützen und die letztere direkt in den Erdboden abzuleiten, und geht endlich durch die mehr oder weniger lange Leitung H nach der Empfangsstation Fig. 428. Hier tritt er umgekehrt aus der Leitung H zuerst in den Blitzableiter und geht dann durch das Galvanometer in den von der Batterie jetzt abgelösten Schlüssel, aus diesem in den Elektromagneten und sodann in den Ableitungsdraht Z nach der Erde, durch welche er sich nach der auf der Anfangsstation in die Erde versenkten zweiten Polplatte der Batterie (s. Fig. 427) zu bewegt und so die Kette schließt.

Die eigentlich telegraphierenden Werkzeuge in diesem ganzen Apparate sind nun 1) der Taster oder Schlüssel und 2) der Schreiber; beide geben wir in den folgenden Figuren in gesonderter Darstellung.

Der Taster (Fig. 429) besteht aus einem metallenen Hebel, der um eine horizontale Achse drehbar ist. An dem vorderen sowohl als an dem hinteren Arme befinden sich kleine metallene Kegel, von denen je einer auf eine darunter liegende metallene Platte gedrückt und mit dieser in leitende Verbindung gesetzt werden kann. Nennen wir den vorderen Kegel 1, den hinteren 3 und die darunter liegenden Platten beziehentlich 2 und 4, so ruht 3 auf 4, wenn der Griff nicht niedergedrückt wird, sondern der Hebel die in der Figur angegebene Stellung einnimmt. Die Platte 2 steht mit dem Leitungsdraht der Batterie in Verbindung. In den Körper des Hebels mündet der Leitungsdraht nach der entfernten Station, während die Platte 4 mit dem zugehörigen Schreibapparat in Verbindung steht.

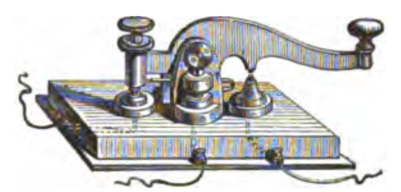


Fig. 429. Taster oder Schlüssel.

In Fig. 427 würde also noch ein Draht von dem Schlüssel zu dem Elektromagneten, und in Fig. 430 ein Verbindungsdraht des Schlüssels mit der Lokalbatterie hinzu zu denken sein, wenn nicht nur Depeschen befördert, sondern auch empfangen werden sollen. Diese Drähte sind in unsern Zeichnungen der Einfachheit wegen weggelassen worden. Wenn eine Depesche ankommt, so durchläuft der elektrische Strom den Hebelkörper des Tasters in der Art, daß er aus dem Drahte in die Platte 4, von da durch 2 in den Hebelkörper und aus diesem durch den mittleren Leitungsdraht nach dem Schreibapparat fließt; 1 und 2 sind während dieser Zeit unterbrochen. Soll eine Depesche abgeschickt werden, so ist 3 und 4 unterbrochen, und solange als 1 und 2 zeitweilig geschlossen werden, geht der Strom aus dem mittleren Hebelkörper in die Drahtleitung nach der entfernten Station.

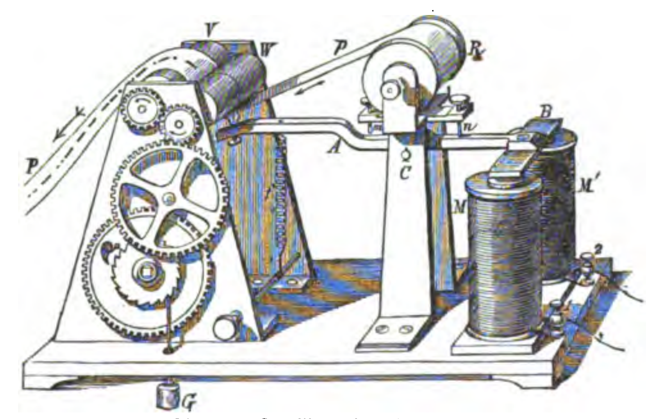


Fig. 430. Der Morsesche Schreibapparat.

Man hat es ganz in seiner Gewalt, kürzere oder längere Ströme hervorzurufen. Das ist wichtig. Denn solange wie der Strom durch die Spiralen M M' des Schreibapparates (Fig. 430) auf der Endstation läuft, solange sind die darin steckenden Eisenkerne magnetisch und ziehen das darüber schwebende Eisenstück B an, solange wird auch der am andern Arme A befindliche Stift O gegen den Papierstreifen P gepreßt, welcher durch die Walzen V und W in der Richtung des Pfeiles von der Rolle R abgewickelt wird, und bringt demgemäß in diesem mit seiner Spitze kürzere oder längere Eindrücke, Punkte oder Striche, hervor. Wenn der Magnetismus verschwindet, so zieht die Feder f die Spitze wieder herunter und hebt dadurch die Eisenplatte B von dem Elektromagneten. Die Bewegung

der Walzen V und W besorgt ein durch ein Gewicht G getriebenes Uhrwerk; die Ausweichung des Schreibhebels um die Achse C aber wird durch zwei kleine Stellschrauben (Limitierungsschrauben) m und n korrigiert. Um die Eindrücke besser sichtbar zu machen, liegt das Papier da, wo der Schreibstift auftrifft, etwas hohl.

Morse hat aus der Kombination von Strichen und Punkten sein Alphabet gebildet, welches mit seinen Apparaten jetzt fast auf allen Telegraphenämtern angenommen worden ist. Die Telegraphenbeamten haben dasselbe so im Kopfe, daß sie schon aus dem Geräusch, welches das Anschlagen des Schreibapparates verursacht, den Inhalt der Depesche sofort herauslesen. Übrigens hat man dazu noch besondere Apparate, sogenannte Klopfer, erfunden, welche also eine förmliche Lautsprache führen.

A . —	I . .	R . — .
Ae . — . —	J . — — —	S . . .
B — . . .	K — . —	T —
C — . — .	L . — . .	U . . —
D — . .	M — —	Ue . . — —
E .	N — .	V . . .
E' . . — . .	O — — —	W . — —
F . . — .	Oe — — — .	X — . . —
G — — .	P . — — .	Y — . — —
H	Q — — . —	Z — — .

Fig. 431. Das Morsesche Alphabet.

Die Schutzvorrichtung gegen Blitz, deren wir noch zu erwähnen haben, ist in ihrer ersten Idee von Steinheil angegeben worden. Der atmosphärischen Elektrizität gegenüber verhält sich nämlich der Telegraph mit seiner Ableitung in die Erde wie ein riesenhafter Blitzableiter; die Drähte überladen sich bisweilen so mit Elektrizität, daß eine Unterbrechung der Leitung nach der Erde, wie sie ja bei den Arbeiten am Taster fortwährend stattfindet, für den Beamten im höchsten Grade gefährlich werden kann. Es wird daher für eine seitliche Ableitung der Gewitterelektrizität gesorgt, indem man an den Draht eine Vorrichtung von gegeneinander stehenden Spitzen oder zwei gezahnten Blechen, die nur sehr wenig voneinander abstehen, anschraubt. Der galvanische Strom hat nicht genug Spannung, um diesen Zwischenraum zu überspringen und, anstatt im langen Leitungsdrahte fortzufließen, in die Erde abzuströmen; die Gewitterelektrizität dagegen, welche sich in den Drähten anhäuft, geht mit Leichtigkeit zwischen den Spitzen über und strömt auf diesem Wege unausgesetzt nach der Erde, mag der Schlüssel arbeiten oder nicht.

Die Typendrucktelegraphen. Der Wunsch, welcher die gewöhnlichen Schreib- oder Drucktelegraphen erfinden ließ, nämlich die Depesche in bleibend sichtbarer Gestalt von dem telegraphischen Apparate zu empfangen, hat, wie es scheint, sehr frühzeitig schon die Bestrebungen darauf gelenkt, einen Apparat zu konstruieren, welcher die Depesche in einer allgemein verständlichen Schrift wiedergibt und nicht bloß in Chiffern, zu deren Enträtselung die Kenntnis des Systems gehört. Denn wenn wir die allerdings erst aus dem Jahre 1847 stammende Mitteilung Morses wörtlich verstehen dürfen, so hat bereits im Frühjahre 1837 der Amerikaner Vail einen Apparat hergestellt, welcher die durch den galvanischen Strom übermittelte Depesche mit Typen druckte; 1840 trat Bain mit einem andern Apparat hervor, 1841 stellte Wheatstone einen Typendrucktelegraphen in der Königlichen Polytechnischen Gesellschaft aus; Fardely erfand in Deutschland einen Typendrucktelegraphen, der 1844 bereits auf der Taunusbahn Anwendung fand; den 1846 von Siemens erfundenen Zeigertelegraphen mit Typendruckvorrichtung haben wir bereits erwähnt. Und seitdem hat sich die Zahl der Apparate noch beträchtlich vermehrt, ja es ist gewiß jeder, der sich mit der Vervollkommnung der Telegraphenapparate beschäftigte, mehr oder weniger der Idee nachgegangen, dieses Ideal der telegraphischen Schreibweise zu erreichen. Wenn trotzdem so

lange Zeit vergangen ist, ehe sich einer der vielen erfundenen Typendruckapparate in allgemeine Aufnahme zu bringen gewußt hat, so liegt dies an der Kompliziertheit der Einrichtung, welche mit so erhöhten Ansprüchen verbunden sein mußte, und welche namentlich in bezug auf das Haupterfordernis, möglichst rasche und sichere Schreibweise, den auf hohe Stufe der Vollkommenheit gebrachten Morseschen Apparaten gegenüber praktische Vorteile nicht zu gewähren schienen.

Erst der von dem amerikanischen Professor Hughes erfundene Apparat entspricht diesen Anforderungen vollständig, ja er gestattet ein bei weitem schnelleres Telegraphieren als selbst die besten Morseschen Apparate, und da seine Behandlung außerdem eine sehr leicht zu erlernende ist, so würde er alle andern Apparate schon aus dem Felde geschlagen haben — wenn eben nicht auch sein Mechanismus so überaus subtil zusammengesetzt wäre, daß Reparaturen daran nur von ganz eingeweihten und geschickten Mechanikern, die nicht überall zu Gebote stehen, ausgeführt werden können. Der Hughessche Typendrucktelegraph ist in der That ein hervorragendes mechanisches Werk, dessen Erfindung die höchste Genialität dokumentiert, und er verdient, daß wir uns mit ihm beschäftigen.

Den meisten Typendrucktelegraphen gemein ist die Art und Weise, in welcher die Drucktypen angeordnet sind; auf dem Umfange eines stählernen Rades, ähnlich einem Zahnrade, sind sie auf der äußersten Peripherie erhaben ausgearbeitet. Denkt man sich dieses Typenrad auf der einen mit einem Manipulator auf der andern Station in Verbindung, wie es die Meldescheibe und der Zeichengeber des Wheatstoneschen Zeigertelegraphen sind, so wird man sich vorstellen können, daß, anstatt daß hier der Zeiger den Umfang der Alphabetscheibe durchläuft, die Anordnung so getroffen sein könnte, daß das Typenrad diese Drehung ausführt, bis der entsprechende Buchstabe genau über dem weißen Papierstreifen steht. In diesem Moment könnte der Druck erfolgen, natürlich müßte dazu das Typenrad vorher gehörig eingeschwärzt sein und durch eine andre Vorrichtung es entweder gegen den Papierstreifen oder dieser gegen jenes angedrückt werden. Hierauf würde es notwendig sein, daß das Papier so weit fortgezogen würde, daß der Druck der nächsten Buchstaben neben dem zuletzt gedruckten erfolgte.

Während im allgemeinen diese vier Vorrichtungen zum Einstellen des Typenrades, zum Anpressen des Papieres, zum Schwärzen der Typen und zur Fortführung des Papieres bei allen Typendrucktelegraphen vorhanden sein müssen, unterscheiden sich diese namentlich durch die Art und Weise, wie die erstgenannte Arbeit, das Einstellen der Typen, ausgeführt wird. Wir haben den Vergleich mit den Wheatstoneschen Zeigertelegraphen schon gemacht. Eine Anzahl Apparate (die von Wheatstone, Bain, Brett, House, Bréguet, Digney, Freitel, Mouilleron, Dujardin, Thomson, Du Moncel u. a.) haben dies Prinzip mit Echappement, welches durch elektrische Ströme ausgelöst wird und Zahn für Zahn ein Steigrad sich drehen läßt. Andre dagegen, die von Vail, Siemens, Theiler, Donnier, Arlincourt, Desgoffes und auch von Hughes, besorgen die Einstellung der Typen durch zwei auf beiden Stationen gleichlaufende Uhrwerke. Es sind dies die Apparate mit synchronistischer Bewegung. Wir wollen nur den einen davon, der durch seine ausgezeichneten Leistungen sich vielfach Eingang verschafft hat, etwas eingehender besprechen.

Der Hughessche Apparat. Der Hauptteil desselben ist ein, nach Art des Zeigers bei dem Wheatstoneschen Zeigertelegraphen, sich über eine runde Scheibe in rascher Rotation (zwei Umläufe pro Sekunde) bewegender Schlitten, dessen Bewegung mit der Bewegung des Typenrades zusammenhängt und ganz genau übereinstimmt, so daß, wenn eine gewisse leitende Stelle des Schlittens über einem bestimmten Buchstaben (welche zifferblattähnlich angeordnet sind) steht, derselbe Buchstabe des Typenrades sich genau unterhalb zum Abdruck bereit eingestellt hat, so daß es nur eines raschen Heraufdrückens des Papierstreifens bedarf, um sein Bild zu erhalten. Die Buchstaben sind durch kleine metallene Stifte vertreten, welche aus einer Scheibe hervorkommen. Sie bewirken gewisse elektrische Überleitungen und unterhalten dadurch das Spiel eines Elektromagneten, welcher die mechanischen Auslösungen, das Andrücken des Papieres u. s. w. besorgt.

Auf der andern Station, von welcher die Depesche abgesandt werden soll, ist ein ganz ebensolcher Apparat aufgestellt. Die Uhrwerke beider sind telegraphisch in Übereinstimmung gebracht und Schlitten und Typenräder lassen in demselben Moment dieselben Buchstaben

durchgehen. Die Aufgabe der Depesche erfolgt mit Hilfe einer Klaviatur, deren einzelne Tasten die Buchstaben bedeuten; durch Niederdrücken derselben werden die entsprechenden Stifte emporgeschnellt, und der rasch über sie hinweg rotierende Schlitten nimmt in demselben Moment den elektrischen Strom auf. Wird z. B. die Taste des Buchstaben M niedergedrückt, so geht der Strom durch die Leitung in dem Moment, wo sich der Schlitten über dem emporgehobenen Stifte M befindet; in demselben Momente ist aber auf der andern Station der Buchstabe M des Typenrades gerade über dem Papierstreifen. Der Strom erweckt den Elektromagneten, dieser zieht an und druckt im Fluge den Buchstaben M ab. Sobald der Schlitten über den Stift hinweg ist, wird der Strom unterbrochen, der Papierstreif rückt einen Zahn weiter, und er kann noch während desselben Umlaufes des Schlittens den Buchstaben U oder einen andern nicht zu nahe an M liegenden aufnehmen und zum Druck weiter geben, wenn der Telegraphist rasch genug die entsprechende Taste niederdrückt.

Fig. 432. Pantelegraph Caselli. Originalschrift.

Da aber in jedem Falle, wenn auch ein vollständiger Umlauf des Schlittens bis zum nächsten Buchstaben notwendig sein sollte, bei zweimaligem Umlauf mindestens zwei Buchstaben in einer Sekunde telegraphiert werden können, so leuchtet ein, daß in den Händen geübter Telegraphisten der Hughessche Apparat, was Schnelligkeit der Beförderung betrifft, von keinem andern so leicht erreicht werden kann, und seine unverkennbaren Vorteile haben ihm denn auch eine Aufnahme bereitet, die von Tag zu Tag wächst und stets allgemeiner wird.

Die chemischen Telegraphen. Wir haben schon erwähnt, in welcher Weise Steinheil bereits einen Versuch gemacht hat, einen Telegraphen zu konstruieren, welcher die Depesche in dauernder Gestalt sichtbar wiedergäbe. Außer dem Steinheilschen Schreibtelegraphen gibt es noch mehr Zeugnisse der nach dieser Richtung gewandten Bestrebungen. Der schon erwähnte Davysche Apparat — eine in jeder Beziehung in der Geschichte der Telegraphie hervorragende Erfindung — hatte anstatt des beweglichen Zeigers, welcher ihm von Wheatstone gegeben wurde, einen Stift, der bei jedem Anziehen des Ankers gegen ein sich stetig über eine Rolle bewegendes, chemisch präpariertes Papier drückte und auf diesem, indem er die darin enthaltenen chemischen Stoffe durch den hindurchgeleiteten Strom zersetzte, farbige Punkte hervorbrachte. Das Papier war in Felder abgeteilt, und aus der Anordnung der Zeichnung konnte die Depesche abgelesen werden. So bedeutend diese Erfindung aber auch für die Umgestaltung der Telegraphenapparate hätte werden können, so nahm sie doch keine selbständige Entwickelung. Sie mußte sich daher gefallen lassen, von Wheatstone in das Schlepptau genommen und zu dem schon besprochenen, für die damalige Zeit auch zweckmäßigen Zeigertelegraphen umgestaltet zu werden.

Fig. 433. Übermittelungsdepesche.

Das Problem eines Schreibapparates war dadurch seiner Lösung wieder entrückt worden. Späterhin sind die chemischen Telegraphen zwar von vielen öfters wieder hervorgesucht und verbessert worden, allein sie wollten das Verlangte doch nicht in der wünschenswerten

einfachen Weise leisten, obwohl sie in ihrer Art bisweilen auf das scharfsinnigste eingerichtet waren. Vor einigen Jahren noch hat Giovanni Caselli in Florenz mit seinem sogenannten Pantelegraphen so viel von sich reden gemacht, daß wir an dieser Stelle die chemischen Telegraphen nicht durchaus übergehen dürfen, obgleich die Langsamkeit, mit der sie arbeiten, ihrer Einführung sehr hindernd im Wege steht.

Im Prinzip haben die chemischen Kopiertelegraphen, zu denen auch der Casellische gehört, die Eigentümlichkeit, die Depesche in denselben Zügen wiederzugeben, in denen sie mit einer nicht leitenden Tinte auf eine Metallplatte aufgeschrieben worden ist. Über diese Metallplatte (Stanniol, das um eine Walze gewickelt wird) bewegt sich die Spitze des einen Poldrahtes, der Strom wird also allemal unterbrochen, wenn jener Stift auf einen mit Harz geschriebenen Buchstaben auftrifft, und dadurch wird eine gleichlange Unterbrechung in der Zersetzung des chemisch bereiteten Papieres auf der Endstation bewirkt, mithin auf dem Papier eine entsprechende Zeichnung hervorgebracht. Selbstverständlich wird das Bild der Depesche die Schriftzüge oder die Linien der Zeichnung nicht ununterbrochen wiedergeben, sondern zusammengesetzt aus kurzen Linienelementen, die der Dauer des Stromes entsprechen, welche während der Zeit, daß der Schreibstift auf der nichtleitenden Tinte dahinglitt, unterbrochen war. Fig. 432 mag die auf die leitende Platte aufgetragene Originaldepesche darstellen, dann ist Fig. 433 das Abbild, welches der Casellische Telegraph auf der Empfangsstation davon liefert. Die Einrichtung des Mechanismus zu beschreiben, dürfen wir uns erlassen.

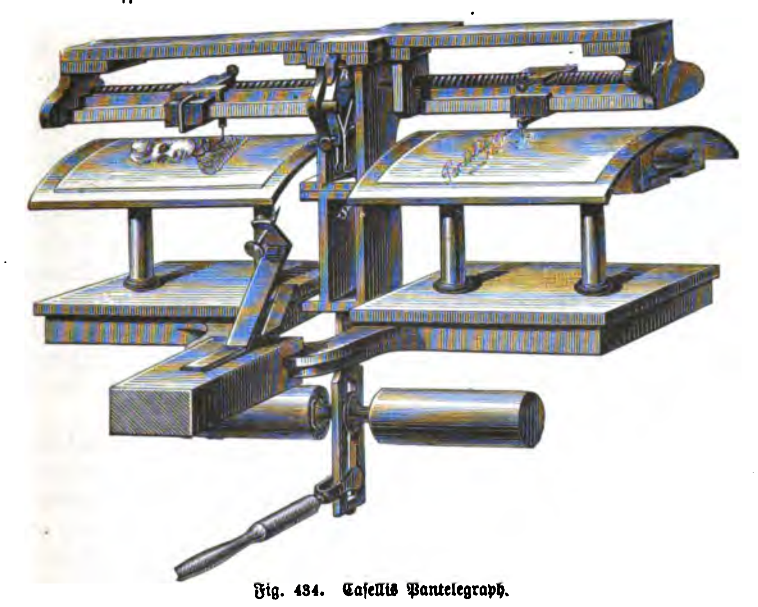


Fig. 434. Casellis Pantelegraph.

Automatische Telegraphie. Der Umstand, daß die zeichengebenden Apparate stets direkt von der Hand eines Telegraphisten in Bewegung gesetzt werden und somit in dem, was sie übermitteln, von der augenblicklichen Stimmung eines Menschen, von dessen Aufmerksamkeit, Abspannung u. s. w. abhängig sind, läßt den Wunsch einer Verbesserung nach der Richtung zu, daß dem zeichengebenden Apparate eine in geeigneter Weise zugerichtete Depesche untergelegt wird, welche die Stromgebung in automatischer Weise selbst besorgt. Wir haben nun zwar in den chemischen Telegraphen schon Einrichtungen kennen gelernt, welche den angeführten Forderungen Genüge leisten, allein dieselben arbeiten zu langsam, und es ist gerade die Ausnutzung der Leitung, als des kostspieligsten Anlageobjektes, die Beförderung einer möglichst großen Anzahl Depeschen in möglichst kurzer Zeit, dasjenige Moment, welches auf die Vervollkommnung der telegraphischen Apparate drängt. Für unterseeische Linien namentlich ist dasselbe von der höchsten Wichtigkeit. Man hat auf verschiedene Weise den Zweck zu erreichen versucht.

Morse bereits führte den Gedanken aus, indem er die Öffnung und Schließung der Kette durch einen sägeblattartig ausgeschnittenen Blechstreifen bewirken ließ. Daß mit einem solchen Hilfsmittel die Bewegung des Tasters ins Werk gesetzt werden kann, liegt auf der Hand, und ebenso, daß, wenn einmal das Depeschenblech vorbereitet ist, das eigentliche Abtelegraphieren rascher und sicherer erfolgen kann, als wenn die Zeichen von der Hand eines Telegraphisten gegeben werden müssen. Die Herstellung der Depeschenpatrone kann unabhängig von dem übrigen telegraphischen Apparate vorgenommen werden, und es lassen sich gleichzeitig beliebig viele derselben zurichten, so daß es scheint, als ob die Leistungsfähigkeit der Apparate und der Leitung sich so weit ausnutzen lassen müßte, als es mit dem Morsesystem überhaupt möglich ist. Den Umstand, daß die mechanische Vorbereitung der Depeschen aufhältlich und kostspielig ist, beseitigte Morse selbst dadurch, daß er aus Blech einzelne Typen ausschnitt, die er zu dem Depeschenstreifen zusammensetzen konnte. Fig. 435 gibt uns die Ansicht einiger solcher Typen, deren Wirkungsweise sich von selbst erklärt, wenn wir uns eine leitende Metallfeder darüber hinschleifend denken. Die spitzen Zähne geben Punkte, die breiten dagegen Striche. Ein Übelstand, der weniger leicht zu heben war, zeigte sich aber darin, daß die Elektromagnete bei dem damaligen Stande der Apparate der Stromgebung nicht rasch und sicher genug der Auslösung des Tasters zu folgen vermochten.

Baine schlug deshalb sehr bald darauf (1846) einen andern Weg ein. Er verzeichnete die Depesche auf einen Papierstreifen, so ungefähr wie sie aus dem Schreibapparate hervorkommen würde, mit den Morsestrichen und Punkten. Diese Schriftzeichen schlug er aus dem Papier aus, spannte das letztere über eine Metalltrommel, in welche die Leitung ging, und ließ eine Metallfeder über die Depesche schleifen, welche an allen durchlochten Stellen auf die Metalltrommel auftraf und dadurch eine Schließung des Stromes bewirkte. Dieses Prinzip der durchlochten Depeschenstreifen wurde auch späterhin beibehalten und namentlich von Siemens wurden verbesserte Apparate angewandt, welche die Durchlochung auf mechanische Weise mittels dreier Tasten bewirken. Auch die Morsesche Typenschiene ist in den sechziger Jahren von Siemens & Halske wieder aufgenommen worden, nachdem in andrer Weise der Stromgebung Mittel gefunden waren, die vordem auftretenden Schwierigkeiten zu umgehen.

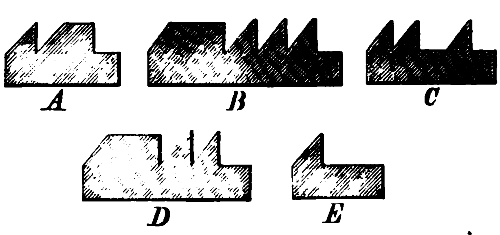


Fig. 435. Morsesche Typen für die automatische Telegraphie.

In den späteren automatischen Schnellschreibapparaten, deren Vervollkommnung ganz besonders Siemens & Halske sich haben angelegen sein lassen, ist die vorhergehende, von dem stromgebenden Apparate unabhängige Vorbereitung der Depesche wieder aufgegeben worden. Es wird allerdings der Papierstreifen auch noch gelocht, und zwar mittels eines Tastenwerkes, welches die einzelnen Buchstaben, Zahlzeichen u. s. w. enthält und infolgedessen bei dem v. Hefner-Alteneckschen Apparate aus 49 Tasten besteht. Allein der Durchlochungsapparat ist mit dem stromgebenden Apparate verbunden, so daß der eben erst gelochte Buchstabe auch gleich darauf telegraphiert wird. Der Vorteil rascherer Zeichengebung, welcher die automatischen Telegraphen überhaupt hervorgerufen hat, besteht hier so gut wie früher, denn da mit jedem Tastendruck ein Buchstabe gelocht wird, der bei dem Morsesystem durchschnittlich aus drei Zeichen besteht, so wird dadurch schon eine bei weitem größere Schnelligkeit des Depeschierens ermöglicht. Außerdem aber ist das Behandeln der Klaviatur ein leichteres als das des Tasters.

Diese automatischen Apparate sind in verschiedenen Konstruktionen erschienen: man hat Dosenschriftgeber und Kettenschriftgeber, deren spezielle Verschiedenheit auseinander zu setzen wir an dieser Stelle nicht unternehmen können. Ja sogar auf die Typendrucktelegraphen ist das automatische Prinzip angewandt worden (Schnelldrucker).

Was die Schnelligkeit des Telegraphierens anbelangt, so wird behauptet, daß sich mittels automatischer Zeichengebung in der Minute die Zahl der telegraphierten Worte bis auf 7200 oder wenn man die Depesche zu 20 Worten rechnet, die Zahl der Depeschen bis

auf 360 bringen läßt. Eine solche Geschwindigkeit soll mit dem System Baudot, bei welchem sechs Beamte zugleich denselben Draht benutzen können, auf der Linie Paris-Marseille mit Zwischenstation in Lyon erreicht worden sein. Wheatstone Duplex (mit doppelter Benutzung des Drahtes) befördert 140—150; Hughes 40—50 Worte, 20—25 Telegramme pro Stunde.

Das Gegensprechen, Doppeltsprechen. Die Idee, zu gleicher Zeit zwei Ströme in entgegengesetzter Richtung durch die Leitung zu schicken, die sich gegenseitig nicht aufheben oder stören sollen, hat auf den ersten Anblick etwas ungemein Überraschendes, und die Frage, ob es wahrscheinlich sei, daß von einer Station A nach der entfernten Station B und in derselben Zeit umgekehrt von B nach A in verständlicher Weise telegraphiert werden könne, dürfte schwerlich von jemand mit Ja beantwortet werden, dem sie zum erstenmal vorgelegt wird und der von den thatsächlichen Verhältnissen eine genaue Kenntnis nicht hat. Und doch ist die Sache ausführbar und in der That auch ausgeführt worden.

Wie bei diesem Vorgange die Stromverhältnisse im Innern der Drahtleitung sind, darum brauchen wir uns, wenn wir uns von der Sache selbst eine Vorstellung verschaffen wollen, nicht zu kümmern. Thatsache ist, daß gleichzeitig von zwei Stationen aufeinander zu zeichengebende Ströme abgelassen werden können. Die Schwierigkeit lag für die Technik nur darin, den Schreibapparat fortwährend mit in die Leitung einzuschalten, ihn also so einzurichten, daß derselbe nur durch den von der entfernten Station kommenden Strom in Thätigkeit gesetzt wurde, während der nach jener Station hingehende Strom ihn zwar mit durchlaufen mußte, ohne jedoch eine Wirkung auf ihn auszuüben. Wenn wir uns die Fig. 435 und 436 vergegenwärtigen, so werden wir uns über die eintretenden Beziehungen leicht klar werden. Dort haben wir gesehen, daß für gewöhnlich der Schreibapparat aus der Leitung ausgeschaltet wird, wenn nach einer andern Station telegraphiert wird. Der Strom geht von Station A aus der Batterie durch den Taster in die Leitung nach Station B, daselbst in den Schreibapparat und aus diesem durch die Erde in die Batterie A zurück. Wäre an Station A der Schreibapparat in die Leitung eingeschlossen, wie er es auf Station B ist, so würde der von der Batterie A ausgehende Strom nicht erst in die Leitung nach B eintreten, sondern den kürzeren Weg durch den Schreibapparat A, den er in Thätigkeit setzen würde, zur Erde wählen. Bei dem Gegensprechen muß jedoch der Schreibapparat auf beiden Stationen mit in der Leitung sich befinden, es muß also ein Arrangement getroffen werden, welches den Schreibapparat A gegen den von Station A nach B gehenden Strom unempfindlich macht, dagegen ihm seine Empfindlichkeit dem von B aus ankommenden Strome gegenüber erhält, und ebenso darf der Schreibapparat B nicht durch den von B nach A gehenden, sondern nur durch den von A nach B kommenden Strom in Thätigkeit gesetzt werden. Dies kann auf verschiedene Weise geschehen.

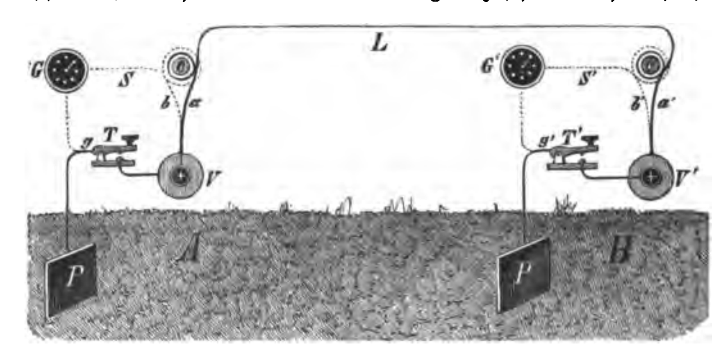


Fig. 436. Schematische Anordnung des Edlundschen Apparates zum Gegensprechen.

Wir wollen als Beispiel für die Ausführbarkeit der Idee nur diejenige Anordnung im Prinzip erläutern, welche von Edlund in Stockholm herrührt. Dazu dient uns die schematische Darstellung Fig. 436. In derselben ist V die Batterie, T der Taster, c der Schreibapparat oder das Relais desselben, den wir uns durch einen weichen Eisenkern repräsentiert denken, welcher durch den elektrischen Strom magnetisch wird und den Schreibstift anzieht. G ist das Galvanometer, L die Leitung, P die Erdplatte; auf der zweiten Station sind dieselben Bestandteile des Apparates durch gleiche mit ' versehene Buchstaben bezeichnet. Sie haben übrigens bis auf den Schreibapparat in ihrer Einrichtung nichts

Besonderes. Dieser dagegen ist von Edlund auf eine sehr geistreiche Weise folgendermaßen eingerichtet worden. Der von der Batterie V ausgehende stromführende Draht teilt sich vor dem Schreibapparat in zwei Zweige a und b, von denen der eine durch die voll ausgezogene Linie a, der andre durch die punktierte Linie b angedeutet wird. Diese beiden Drähte a und b sind um den weichen Eisenkern c in der Art geführt, daß die Windungen von a denen von b entgegengesetzt laufen; ist also a von rechts nach links, so ist b von links nach rechts gewickelt oder umgekehrt. Dadurch wird nun erreicht, was man erreichen wollte, nämlich daß der bei Niederdrückung des Schlüssels T von der Batterie V ausgehende Strom auf den Eisenkern c gar keine magnetisierende Wirkung ausüben kann, denn an derselben Stelle, an welcher die Stromhälfte a einen Nordpol hervorbringen will, würde die entgegengesetzt laufende Stromhälfte b einen Südpol erzeugen, die sich in der Gesamtwirkung notwendig aufheben müssen.

Der Strom selbst geht, nachdem seine beiden Zweige den Eisenkern umlaufen haben, einesteils durch die Leitung L nach der Station B, woselbst er zunächst den Elektromagneten e' umkreist und den Schreibapparat in Bewegung setzt, dann aber, wenn der Schlüssel T' niedergedrückt ist, durch die Batterie C', aus welcher er durch den Schlüssel in die Erdplatte seinen Weg nimmt und durch die Erde zurück nach der Station A in die Batterie V gelangt. Ist aber auf Station B der Taster T' nicht niedergedrückt, so geht der von A kommende Strom, nachdem er den Schreibapparat passiert hat, den durch die punktierte Linie angedeuteten Weg durch das Galvanometer G' in denjenigen Teil der Leitung, welcher hinter dem Taster in die Erdplatte überführt. — Auf Station A ist noch der zweite Teil des Stromes zu verfolgen, welcher aus der Batterie V die punktierte Bahn durch den Zweig C eingeschlagen hat. Derselbe gelangt ebenfalls aus dem Schreibapparat durch das Galvanometer in die Leitung hinter dem Schlüssel, allein er geht nicht in die Erde, sondern nimmt sofort seinen Weg durch den niedergedrückten Schlüssel in die Batterie C zurück.

Bedingung für die völlige Unempfindlichkeit des Schreibapparates gegen den eignen Strom ist, daß die beiden Stromhälften einander in bezug auf Stärke völlig gleich sind. Da nun die Leitung L durch den Widerstand, welchen sie dem sie passierenden Strome im Verhältnis ihrer Länge entgegensetzt, denselben schwächt, so muß man dem Zweige c einen künstlichen Widerstand in Gestalt dünner Drahtleitung vor dem Schreibapparat einschalten, der an der Stromstärke eine gleichgroße Verminderung bewirkt. An diesem Umstande, so einfach er für den ersten Anblick zu sein scheint, scheitert für weitverzweigte Landlinien, auf denen mit verhältnismäßig starken Batterien gearbeitet wird, die praktische Ausnutzung des Gegensprechens; denn abgesehen davon, daß eine kräftige Batterie unter keinerlei Umständen konstant bleibt, so werden auch durch die fortwährende Aus- und Einschaltung neuer Linien in die Leitung deren Widerstände so mannigfaltig geändert, daß man den Schreibapparat nur immer für sehr kurze Zeit gegen die eigne Batterie unempfindlich erhalten kann.

Indessen wird für submarine Kabel, bei denen jene Übelstände nicht in der geschilderten Weise auftreten, das Gegensprechen eher von nachhaltiger Bedeutung, um so mehr, als hier die Kosten der Leitung viel bedeutender ins Gewicht fallen. Für uns kam es nur darauf an, die Lösung des Problems nachzuweisen, wir enthalten uns daher eines näheren Eingehens auf die Ausführungen, welche das Verfahren von Leuten wie Gintl in Wien, Frischen in Hannover, Siemens & Halske in Berlin u. a. gefunden hat.

Neben dem Gegensprechen hat das Doppeltsprechen denselben Zweck, möglichst viel Depeschen in der möglichst kürzesten Zeit durch denselben Draht zu befördern. Das Doppeltsprechen unterscheidet sich aber im Prinzip von dem Gegensprechen dadurch, daß bei jenem gleichzeitig zwei oder sogar mehrere Depeschen von einer Station nach der andern abgelassen werden. Der Schreibapparat hat die Aufgabe, die verschiedenen untereinander gemischten Zeichen so wieder auseinander zu legen, daß je die zu einer Depesche gehörigen auch wirklich den Wortlaut derselben zusammensetzen. Mit Hilfe synchronistischer Bewegungen ist das in der That gelungen, und arbeitete schon auf der Wiener Ausstellung 1873 ein vierfacher Telegraph von Meyer in Paris, welcher vier Telegraphisten gestattete, gleichzeitig mittels eines Drahtes vier Depeschen zu befördern. Nach ihm hat jedoch Baudot die gleichzeitige Benutzung desselben Drahtes durch sechs Beamte ermöglicht. Die Einrichtung dieser Apparate zu beschreiben würde uns jedoch zu weit führen.

Die Leitung. Die übrigen Teile des Telegraphen, auf die wir unsre Aufmerksamkeit zu richten haben, sind, außer den eben geschilderten Apparaten, der stromerzeugende Apparat und die Leitung. Von den ersteren noch weiter zu reden, dürfte wohl unnötig sein, da die Stromerzeugung durch galvanische Batterien sowohl als durch Induktionsapparate uns bereits hinlänglich bekannt geworden ist; die Leitung dagegen ist ein Gegenstand, dessen Wichtigkeit uns nicht erlaubt, so ohne weiteres darüber hinwegzugehen.

Die ersten Telegraphenleitungen waren die von Gauß und Weber in Göttingen und die Steinheilsche in München, beide teils über Häuser, teils über Mastbäume weggeführt. Bei großen Telegraphenanlagen müssen für die Drähte meist besondere Stützpunkte errichtet werden, und man bedient sich dazu jetzt gewöhnlich 3—5 m, nach Umständen mehr oder weniger hoher Stangen, die man mit dem unteren Ende in den Boden eingräbt und so weit oberflächlich verkohlt. In Amerika (auch auf Java) befestigt man die Drähte häufig auch an lebenden Bäumen; nur muß man dann wegen des Hin- und Herbiegens durch den Wind eine solche Aufhängung anbringen, daß der Draht durch die Schwankungen nicht leidet. Die Isolierung bewirkt man meist durch glockenförmige Träger von Porzellan, durch die man bei uns in der bekannten Weise die Drähte laufen läßt; in Frankreich ist eine andre Art der Isolierung üblich, welche in Fig. 437 abgebildet ist. Neuerdings wendet man statt Porzellan- oder Glasglocken, die dem Zerbrechen leichter ausgesetzt sind, auch gußeiserne Glocken mit Isolatoren von Horngummi an. Während man früher Kupferdraht zu der Leitung verwandte, hat man später allgemein zu dem billigeren Eisendraht gegriffen. Man gleicht den größeren Widerstand durch eine entsprechend größere Dicke aus; der Draht erhält dadurch nicht nur eine vermehrte Dauerhaftigkeit atmosphärischen Einflüssen gegenüber, sondern auch gegen diebische Gelüste, denen Kupfer immer ein sehr annehmbares Objekt ist. Schadhafte Stellen in der Leitung sucht man durch Einschalten eines Galvanometers auf. Man vermag aus dem Widerstande, welchen die Leitung dem Strome entgegensetzt, mit ziemlicher Sicherheit von der Station aus die Entfernung der Bruchstelle zu berechnen, was vorzüglich für submarine Kabel von großer Wichtigkeit ist.



Fig. 437. Isolierende Befestigung des Telegraphendrahtes.

Steinheils Entdeckung der Erdrückleitung hat auch noch dadurch einen wesentlichen Vorteil gebracht, daß man, weil der Widerstand auf der Hälfte des Weges durch große Erdplatten fast verschwindend klein gemacht werden kann, auch dem Leitungsdrahte jetzt eine geringere Dicke geben kann, um dieselbe Stromwirkung zu erhalten.

Bei sehr langen Leitungen indessen schwächt sich schließlich der Strom doch in so bedeutendem Maße, daß er nicht mehr im stande sein würde, den Schreibapparat in Bewegung zu setzen, und die Möglichkeit einer transatlantischen Telegraphie würde in sehr weite, ja unerreichbare Ferne gerückt sein, wenn nicht Wheatstone eine Vorrichtung erfunden hätte, den sogenannten Übertrager oder das Relais, welches mit erneuter Kraft selbst die schwächsten Ströme zur Wirkung bringt. Es beruht dieser ausgezeichnet nützliche Apparat darauf, daß durch den von der Station 1 ausgehenden Strom auf der Empfangsstation 2 nicht direkt der Elektromagnet erregt wird, sondern daß der durch die große Drahtlänge vielleicht sehr geschwächte Strom nur, indem er auf eine ganz leicht bewegliche Nadel oder Feder wirkt, ein entsprechendes Öffnen und Schließen einer galvanischen Batterie, der Lokalbatterie, hervorbringt, welche ihrerseits mit dem Schreibapparat in Verbindung steht und diesen dann mit der nötigen Energie in Bewegung setzt.

Unterseeische und unterirdische Kabel verlangen, da sie überall von sehr guten Leitern umgeben sind, eine ganz besondere Isolierung.

Es wurde früher erwähnt, daß der Professor Winkler in Leipzig schon 1746 die Reibungselektrizität mittels langer Drähte durch die Pleiße geleitet hat, indessen sind weder die damaligen Zwecke noch die zu Gebote stehenden Hilfsmittel in Vergleich zu stellen mit den Anforderungen, welche an ein Kabel gemacht werden, dessen Legung über Tausende von Meilen in Tiefen von mehr als 5000 m hinab stattfinden soll unter erschwerenden

Ereignissen aller Art, deren jede Minute neue bringt und von denen ein einziges hinreicht, unglücklichen Falles jahrelange Arbeit und Mühe verloren zu machen.

Für Winkler und die damalige Zeit hatte die Sache noch ein rein wissenschaftliches Interesse. Für den Leiter des britischen Telegraphenwesens in Ostindien, Sir W. O'Shanghessy, aber waren bei den Versuchen, die er im Hughlystrome bei Kalkutta anstellte, schon praktische Zwecke maßgebend, und ebenso bei Morse, der im Jahre 1842 in Amerika sich mit der Leitung unter Wasser beschäftigte. Englische Werke geben an, daß Oberst Colt 1846 von New York nach dem Ufer von Brooklyn einen untermeerischen Draht gelegt habe, und dies dürfte demnach als das erste wirklich ausgeführte Unternehmen dieser Art angesehen werden. In Europa war zwar der Gedanke wiederholt schon angeregt worden und namentlich hatte bereits 1840 der schon oft genannte Physiker Wheatstone dem Parlamente eine bezügliche Vorlage gemacht, allein man erkannte noch nicht das Bedürfnis danach. Und außer dem geringen Zutrauen, das man in die „Rentabilität“ derartiger Unternehmungen setzen mochte, waren es noch mancherlei technische Unvollkommenheiten, die erst beseitigt werden mußten, ehe der Glaube an ein glückliches Gelingen Propaganda zu machen hoffen ließ. Man hatte im Hafen von Kiel im Schleswigschen Kriege von 1848 gegen die dänischen Schiffe untermeerische Sprengungen vorgenommen, und mit ganz gutem Erfolge, aber für die Herstellung größerer Kabellängen zu telegraphischen Leitungen waren die Methoden der Isolierung mittels Kautschuks noch nicht genügend. Denn Kautschuk verändert sich unter Wasser nach und nach und verliert damit seine isolierende Fähigkeit.

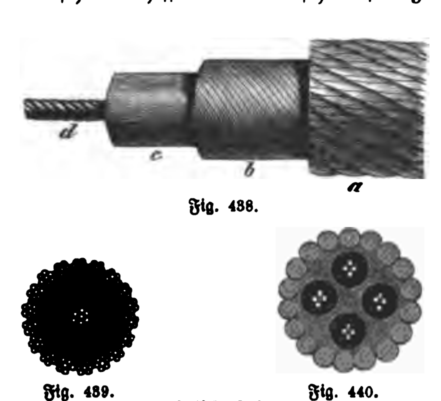


Fig. 438.

Fig. 439. Unterseeische Kabel. Fig. 440.

Da wurde um dieselbe Zeit die Guttapercha (spr. Guttapertscha) in größeren Mengen in den Handel gebracht und man fand sehr bald, daß dieser Stoff sowohl seiner leichten Behandlung wegen vor dem Kautschuk ganz wesentliche Vorzüge voraus habe, noch mehr aber durch seine Eigentümlichkeit, im Wasser nicht nur nicht zu verderben, sondern sogar infolge der Zusammenpressung, welche der Druck der auf dem Kabel lastenden Wassermasse ausübt, eine größere Dichte und innigeren Zusammenhang der einzelnen Teile anzunehmen.

Die Guttapercha wurde von jetzt ab ein nie fehlender Bestandteil der isolierenden Hülle submariner Drähte; 1849 bereits telegraphierte Walker durch eine über zwei Meilen lange und in die See versenkte Leitung, und Brett, welcher von der französischen Regierung für die Herstellung submariner Leitungen zwischen Frankreich und England ein Patent auf zehn Jahre erhalten hatte, legte am 28. August 1850 den sechs Meilen langen Draht zwischen Calais und Dover. Der nur 3 mm dicke und mit einer isolierenden Hülle von Guttapercha umgebene Draht wurde glücklich von dem Dampfschiff „Goliath“ abgewickelt, und, indem das Schiff 3—4 englische Meilen in der Stunde zurücklegte, war die Arbeit gegen Abend beendet. Von 100 zu 100 m Entfernung beschwerten Bleigewichte von 7—12 kg das Kabel, um es auf dem Meeresgrunde festzuhalten.

Alle Schwierigkeiten waren glücklich besiegt, allein die Freude dauerte nicht lange, denn das Kabel — wie man sagte, durch neugierige französische Fischer zerschnitten — versagte in wenigen Tagen den Dienst.

Aber dies schreckte den plötzlich sehr rege gewordenen Unternehmungsgeist nicht zurück. Es wurde ein viel dickeres Kabel aus vier Kupferdrähten von der Stärke eines gewöhnlichen Glockenzugdrahtes angefertigt, welche, jeder für sich, in eine doppelte Hülle von Guttapercha eingeschlossen waren; alle vier wurden mittels einer Mischung von Hanf, Teer und Talg zu einem Strange von 30 mm Durchmesser zusammengewunden, und das Ganze schließlich mit zehn Drähten von galvanisiertem Eisen, jeder ungefähr 10 mm dick, umsponnen, so daß das Kabel einen ziemlichen Durchmesser erhielt. Die Legung geschah vom 25. bis 27. September 1851.

Bald darauf wurden nun eine große Anzahl von Telegraphenkabeln durch Flüsse, Seen und Meeee gelegt; so wurde 1852 England von Holyhead aus mit Irland (Hoarth bei Dublin) durch ein Kabel verbunden, dessen Isoliertüchtigkeit, als man es nach zwei Jahren, weil es durch einen Anker beschädigt worden war, wieder vom Grunde heraufholte, sich als vollständig erhalten erwies; das Jahr darauf England und Belgien (Dover-Ostende), später England und Holland, Dänemark und der Kontinent u. s. w. Um dieselbe Zeit (1853) hatte Brett eine Konzession erhalten, ein Kabel von Spezzia über Corsika und Sardinien nach Algier zu legen, allein die ungünstigen Tiefenverhältnisse, welche Abgründe bis zu 3000 m mit dem Kabel zu belegen verlangten, ließen das Unternehmen trotz der größten Anstrengungen scheitern. Das rasche Ablaufen des Taues bei noch mangelhaft konstruierten Ablaufmaschinen beschädigte das Kabel, und wenngleich Corsika glücklich erreicht wurde, so mußte doch schon angesichts der afrikanischen Küste die Leitung noch gekappt und damit der ganze Erfolg aufgegeben werden. Durch die großen Niveauunterschiede war nämlich eine viel größere Kabellänge verbraucht worden als man berechnet hatte; dazu war noch die Notwendigkeit getreten, ein Stück, das schadhaft geworden war, wieder aufzuwinden und durch ein besseres zu ersetzen; kurz, man war mit dem Kabel zu Ende, als man die Endstation nach nicht erreicht hatte. Zwar war die Nachbestellung schon unterwegs, allein in der Zwischenzeit, während welcher das Schiff an dem Kabel über einer Meerestiefe von 800 m förmlich vor Anker lag, erhob sich ein Sturm, und infolge der Zerrungen, die hierdurch das Kabel erlitt, verlor dasselbe plötzlich seine Leitungsfähigkeit: es mußte wieder gekappt werden, da an ein Aufwinden nicht zu denken war. Über diesen Arbeiten waren fast zwei Jahre vergangen; 1857 wiederholte man den Versuch, aber ebensowenig mit glücklichem Erfolg. Andre Kabellegungen dagegen, auch im Mittelländischen Meere, glückten besser: so z. B. die Verbindung von Italien mit Sizilien (1855); Sardinien mit Malta und Korfu (1858); ein Kabel durch den Persischen Golf für die indische Linie durch die Türkei; Frankreich legte von Marseille aus eine Leitung nach Algier u. s. w. u. s. w. Der durchgängig günstige Erfolg dieser Unternehmungen rief den großartigen Gedanken ins Leben, die Alte mit der Neuen Welt telegraphisch zu verbinden.

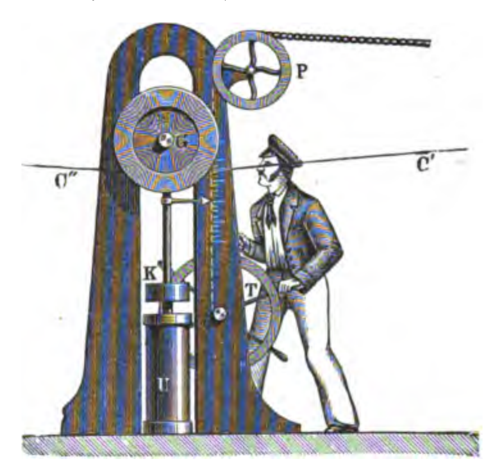


Fig. 441. Dynamometer und Bremsvorrichtung.

Den Ruhm, die erste Idee der Ausführung gehabt zu haben, nehmen die Amerikaner für sich in Anspruch, und zwar war der Ingenieur Gisborne, durch die zwischen Dover und Calais glücklich vollbrachte Kabellegung angeregt, derjenige, welcher das nordamerikanische Telegraphennetz mittels einer Leitung durch Neubraunschweig und Neuschottland nach der Bretoninsel, von da durch die Aspybai über Neufundland und durch die Trinitybai mit der Alten Welt in Verbindung setzen wollte. Als Anknüpfungspunkt war hier Valentia in Irland ausersehen. Indessen gelang es ihm lange nicht, die nötigen Mittel zusammenzubringen, und erst durch das Hinzutreten des großen Unternehmers Cyrus Field wurden die Vorarbeiten in ein Stadium gebracht, welches die Inangriffnahme der wirklichen Kabellegung gestattete. Wir können diese Vorgeschichte nicht in ihren Einzelheiten hier besprechen, so interessant dieselben auch sein mögen. Nach unsäglichen Mühen, Anstrengungen und Mißerfolgen kam man im Sommer 1857 zur glücklichen Ausführung.

Das atlantische Kabel, von dessen Einrichtung die Figuren 438 und 439 einen Begriff geben, hatte ein einziges, aus sieben schwachen Kupferdrähten zusammengesponnenes Leitungsdrahtseil d (s. Fig. 438). Dasselbe war zunächst mit einer aus drei konzentrischen Guttaperchalagen bestehenden Umhüllung c, sodann mit einer Hanflage b von sechs Litzen umkleidet; außen aber schützte das Ganze eine aus 18, durch zusammengezwirnte Eisendrähte

gebildeten Litzen bestehende Schale a. Das Kabel erscheint im Verhältnis zu andern, wie z. B. gegen den zwischen Sardinien und der afrikanischen Küste gelegten Strang (s. Fig. 440), ziemlich schwach, indessen ist es auf dem tiefen Meeresgrunde weit weniger zerstörenden Einflüssen ausgesetzt als eine an den Küsten hin gelegte Leitung. An solchen Orten wurden übrigens auch in das atlantische Kabel stärkere Stellen eingefügt.

Die Legung selbst geschah in der Weise, daß zwei Schiffe, „Agamemnon“ (von „Valorous“ begleitet für England) und „Niagara“ (von „Gorgon“ begleitet für Amerika), jedes mit der Hälfte der zu legenden Leitung beladen, sich nach wiederholt fehlgeschlagenen Versuchen auf die Mitte zwischen den beiden Endstationen begaben — es lag dieser Punkt 52° 5' nördl. Br. und 32° 42' westl. L. von Greenwich — hier am 20. Juli 1858 die Enden des Kabels aneinander spleißten und sich nun mittags 1 Uhr 25 Minuten auf vorgeschriebenem Wege voneinander entfernten, „Agamemnon“ der europäischen, „Niagara“ der amerikanischen Küste zugewandt. Der Draht lag auf dem Verdeck zu einem riesenmäßigen Ringe aufgewickelt, und durch seine eigne Schwere und durch die Bewegung des Schiffes lief er mit einer Geschwindigkeit von fünf bis sechs Knoten in der Stunde über eine Rolle hinab zu seiner ruhigen Lagerstätte.

Eine Hauptaufgabe war es, dem Kabel welches an seinem eignen Gewichte bis hinab auf den Grund schon sehr viel zu tragen hatte, nicht noch mehr durch eine ungeeignete Bewegung des Schiffes zuzumuten. Es durfte daher weder zu rasch noch zu langsam gefahren werden, denn ein Zerreißen des Taues wäre natürlich ein vollständiges Mißlingen der ganzen Unternehmung gewesen. Um die Schnelligkeit des in die Tiefe schießenden Kabels mit der Geschwindigkeit des Schiffes in Übereinstimmung zu erhalten, ist einesteils ein Dynamometer, welches die Spannung des Kabels anzeigt, aus der man einen Schluß auf die Schnelligkeit des Ablaufens machen kann, und sodann eine Bremsvorrichtung nötig, mittels welcher man den Lauf des Schiffes regulieren kann. In welcher Art die Einrichtung bei der atlantischen Kabellegung getroffen war, zeigt Fig. 441. C' C" ist das Telegraphenkabel, das auf seinem Wege nach der Abgleitrolle unter der Rolle G hinweggeht. Diese Rolle lastet mittels des schweren Kolbens K, der sich in dem Cylinder U auf- und abführen läßt, auf dem Kabel, und je nach der Geschwindigkeit, mit der letzteres in die Tiefe schießt und mit der seine Spannung wächst, wird das Gewicht K mehr oder weniger einwirken können; der an der Kolbenstange angebrachte Zeiger wird mehr oder weniger tief sich stellen und damit der Winkel, den das Kabel C' C" an der Rolle bildet, spitzer oder stumpfer werden. Es ist damit ein Zeichen gegeben, die Geschwindigkeit des Schiffes zu regulieren, was durch Anziehung des Rades T geschieht, dessen Bewegung durch ein über die Rolle P laufendes Seil nach der Schiffsmaschine übertragen wird. Nur die gespannteste Aufmerksamkeit, Tag und Nacht auf das ablaufende Seil gerichtet, das rascheste Ergreifen der richtigen Mittel kann einem Unfalle vorbeugen.

Zu wiederholten Malen trat denn auch die Gefahr nahe genug heran. Ein Walfisch ging einmal gerade unter dem Hinterteil des Schiffes hindurch, ein andermal wurde eine schadhafte Stelle zu spät entdeckt, und niemand glaubte an die Möglichkeit, die Enden wieder zusammenspleißen zu können, solange noch die Rolle die gesunde Länge abzuwickeln hatte; ferner steuerte ein amerikanischer Dampfer gerade auf das Kabel los und würde es unfehlbar zerrissen haben, wenn nicht zeitig genug der „Agamemnon“ den Kurs geändert hätte u. dergl. mehr. Beide Schiffe, „Niagara“ und „Agamemnon“, standen immerwährend im Verkehr. Welche Aufregung, wenn einmal durch einen Umstand an der Batterie die Signale ausblieben! — man schwebte fortwährend in der Angst, den Schreckensruf „Zerrissen!“ zu hören und jahrelange Mühen und große Summen nutzlos vergraben zu sehen. Am 3. August hatte man vom „Agamemnon“ 1005 km Tau abgewickelt, und am 5. August früh 6 Uhr warf man in der Doulusbai Anker; kurze Zeit darauf meldete die erste Depesche, daß auch der „Niagara“ glücklich seine Landung auf Neufundland bewerkstelligt habe. Das Jahr vorher schon hatte man die Legung in derselben Weise, aber mit sehr unglücklichem Ausgange, versucht. Mitten auf dem Meere, als die beiden Schiffe (dieselben, welche 1858 dies Unternehmen glücklich zu Ende führten) etwa 1000 engl. Meilen voneinander entfernt waren, hörten plötzlich die Signale, die sie durch das Kabel fortwährend miteinander wechselten, auf — der Draht war zerrissen, und es blieb den Schiffen nichts übrig, als,

um den Rest zu retten, zu kappen und wieder nach Hause zu fahren, um das für immer verlorene Stück durch ein neues zu ersetzen. Wie es heißt, war dies Ereignis dadurch veranlaßt worden, daß man auf dem andern Schiffe an der Abwickelungsmaschine eine Änderung hatte anbringen wollen, während das Tau über sie ununterbrochen hinweglaufen mußte. Das Tau zerriß infolgedessen, und wohl oder übel mußte auch das zweite Schiff sich von ihm losmachen.

Diesmal also war die Sache glücklicher abgelaufen. Die ganze, von den beiden Schiffen zurückgelegte und durch Drahtleitung nun verbundene Entfernung zwischen der Trinitybai auf Neufundland und Valentia in Irland beträgt 1650 engl. Meilen; etwa 2050 Meilen Tau waren abgelaufen, wobei auf die Stunde 6—8 Knoten kamen. Von der Trinitybai wurde der Telegraph zu Lande, wie schon erwähnt, nach der andern Seite der Insel geführt und von da mit der Leitung nach der Aspybai auf der Bretoninsel verbunden, weiter aber nach Neuschottland und Neubraunschweig geleitet, wo er dann in das amerikanische Telegraphennetz sich einfügte. Die Kosten der Legung betrugen gegen 24 Millionen Mark. — Die Beglückwünschungsdepesche der Königin Viktoria an den Präsidenten der Vereinigten Staaten bedurfte zur Übermittelung 16 Stunden, denn die Masse des Taues verhielt sich im Wasser wie eine Leidener Flasche, die erst geladen werden muß, ehe sie ihren Funktionen nachkommen kann.

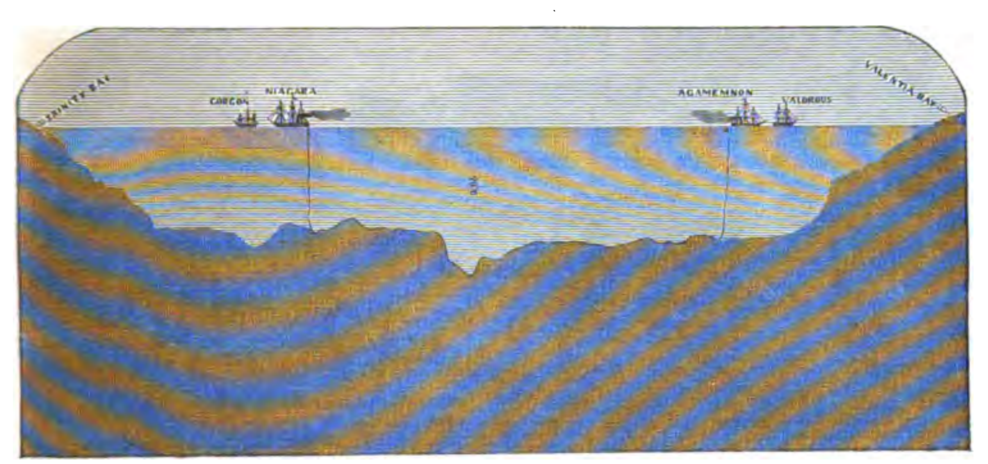


Fig. 442. Legung des transatlantischen Kabels.

Leider aber war der Jubel über das Gelingen der Unternehmung ein sehr kurzer, denn es zeigte sich auch jetzt sehr bald wieder, daß dieselbe abermals verunglückt war. Die Signale wurden bald nach der ersten Begrüßung undeutlich, schwächer und schwächer und hörten endlich ganz auf. Die Gründe dieser fatalen Schweigsamkeit suchte man auf sehr verschiedenen Gebieten; wo sie aber auch liegen mochten, es war gewiß, daß sie sich nicht so rasch beseitigen ließen, und daß der Gratulationsaustausch zwischen den beiden Staatsoberhäuptern am 5. August 1858 die kostspieligste Korrespondenz gewesen, welche auf der Erde geführt worden ist. Im ganzen waren bis zum 1. September, wo das Kabel zu reden aufhörte, nicht mehr als 129 Depeschen aus Europa nach Amerika und 271 in der umgekehrten Richtung durch dasselbe befördert worden. Nach dieser kurzen Thätigkeit lag es tief unten, vielleicht schon im Schlamm eingebettet, wo es sich zu einem Rätsel für nachmenschliche Geologen ausbildete. Das waren für die Interessenten traurige Gedanken.

Trotz des fehlgeschlagenen Versuches dauerte es aber nicht lange, daß sich nicht wieder Stimmen vernehmen ließen, welche einer Wiederholung des Versuches das Wort redeten. Aktienzeichnungen wurden aufs neue zusammengebracht, und zu Anfang des Jahres 1864 erschien das Unternehmen so weit gesichert, daß man sich mit der Herstellung des neuen Kabels beschäftigen konnte. Nach den gewonnenen Erfahrungen wurde es diesmal etwas anders konstruiert als früher. Seine Ausführung übernahm das englische Haus Glaß & Elliot,

die Eisendrähte dazu lieferte die Fabrik von Webster & Horsfall in Birmingham. Und das war eine sehr bedeutende Lieferung. Denn wie die Fig. 443 und 444 zeigen, bestand das Tiefseekabel aus einem siebenfachen Leitungsdraht von Kupfer, der durch eine vierfache Guttapercha-Umhüllung isoliert und vor der Einwirkung schädlicher äußerer Einflüsse zunächst durch eine besonders präparierte Hanfdecke geschützt wurde, welche außerdem noch von zehn schwachen Drahtseilen spiralförmig umsponnen war. Das Tiefseekabel hatte einen Durchmesser von 30 mm; für die Küstenstrecken, an denen eine Abnutzung durch Scheuerung infolge der Strömungen zu befürchten war, erhielt es noch eine Armierung von zwölf Eisenlitzen, jede aus drei galvanisierten, 6 mm starken Eisendrähten bestehend, und damit einen Durchmesser von über 60 mm. Die ganze Kabelmasse wog 82000 Zentner. Sie wurde, nachdem alles gehörig geprüft war, auf den Great Eastern verladen, der dann am 23. Juli 1865 von der irischen Küste aus seine Fahrt nach Westen antrat. Es schien jedoch, als sollten sich dieselben Widerwärtigkeiten, die schon früher das Gelingen vereitelt hatten, wiederholen. Wurden auch die ersten kleinen Unfälle glücklich umgangen oder in ihren Folgen unschädlich gemacht, so war doch das Zerreißen des Kabels infolge mehrfacher Aufwickelungsversuche, die man anstellte, um eine vermutete schadhafte Stelle zu ergänzen, für die Umkehr schließlich zwingend. Die Anstrengungen, das versenkte Kabel emporzuheben (beiläufig gegen 1000 englische Meilen), waren umsonst, der Great Eastern kehrte in der zweiten Hälfte des August 1865 nach Irland zurück. — Man hatte viel gelernt, aber das Lehrgeld war wiederum sehr hoch gewesen.



Fig. 443.



Fig. 444.
Das Tiefseekabel vom Jahre 1865.

Nichtsdestoweniger kam in kurzer Zeit wieder ein Kapital von 12 Millionen Mark zusammen, ein neues Kabel wurde angefertigt, neue Aufwindemaschinen konstruiert, und ehe ein Jahr vergangen war, am 13. Juli 1866, dampfte der Great Eastern zum zweitenmal aus Valentia, das weltverknüpfende Band schlingend, und 14 Tage später, am 27. Juli 1866, landete das zweite Uferende des atlantischen Kabels in Neufundland. Die Spleißung ward an demselben Abende noch vollendet, und die Mitteilung davon war die erste Depesche, welche diesmal von der westlichen nach der östlichen Halbkugel geschickt wurde. Das Werk war also gelungen.

Als erste Handelsdepesche durch das atlantische Kabel empfing London aus Amerika (Reuters Office) die Kurse vom 28. Juli: „Gold 50, London 164 1/2, Bonds 7 1/4, Baumwolle 36 c. ruhig.“ Diese Depesche schleuderte die Alte Welt plötzlich um zwölf Tage vorwärts in ihren Beziehungen zur Neuen; denn die letzteingelaufenen Nachrichten waren am 16. Juli per Dampfer von New York abgegangen.

Wir in Deutschland, von dem Kriege zwischen Preußen und Österreich erschüttert, haben damals dem großen Ereignisse nicht diejenige Aufmerksamkeit zuwenden können, die es verdient, um so mehr war die neue Verbindung gerade zu jener Zeit für die Amerikaner interessant. Die preußische Thronrede zur Eröffnung des Abgeordnetenhauses nach dem Kriege wurde ganz nach Amerika telegraphiert, als erste Depesche von solchem Umfange. Sie kostete 900 Pfd. Sterling. Zwei Tage, nachdem sie in Berlin gehalten worden war, konnte man sie in allen nordamerikanischen Zeitungen gedruckt lesen. Der bekannte Millionär Peabody hatte sie bezahlt.

Der glückliche Erfolg fachte den Wunsch wieder an, das im vorigen Jahre verloren gegangene Kabel zu heben und, wenn es sich noch brauchbar erwiese, wie wohl nicht zu bezweifeln stand, den Versuch zu wagen, an das Kabel von 1865 anzuknüpfen und eine zweite

Leitung nach Neufundland zu legen. Die Unternehmung wurde sofort ins Werk gesetzt. Der Great Eastern war mit seiner Aufwindemaschine mit dabei. Es galt zunächst eine Stelle zu suchen, wo das Kabel in nicht zu großer Tiefe lag, um von den Ankern gefaßt zu werden und durch sein Gewicht beim Heben nicht zu zerreißen. Sobald man diese gefunden, wurden die Hebevorrichtungen in Bewegung gesetzt. Am 1. September schon hatte man das Kabel so gefaßt, daß man es wieder über dem Meeresspiegel zu sehen hoffen durfte. Die Spannung wuchs mit jeder Minute. Mitten in der Nacht endlich tauchte es empor, und eine Stunde darauf hatte man auf die sofort nach Valentia gesandten Depeschen schon Rückantwort. Das Ende wurde mit dem mitgebrachten Vorrat zusammengespleißt, noch in der Frühe des 2. September nahm der Great Eastern seinen Kurs wieder auf, und am 8. September waren die beiden Erdteile Europa und Amerika durch eine doppelte telegraphische Leitung miteinander verbunden. Die beiden Kabel laufen einander fast parallel und wenige Meilen voneinander entfernt; das von 1866 liegt etwas südlicher.

Inzwischen sind eine große Anzahl submariner Leitungen ausgeführt worden. Mit Amerika allein ist Europa jetzt durch fünf Leitungen in Verbindung, der kürzeren Linien gar nicht zu gedenken. Täglich werden neue eröffnet, so daß auch die überseeischen Orte, die noch keine telegraphische Verbindung haben, bald zu den Seltenheiten gezählt werden müssen.

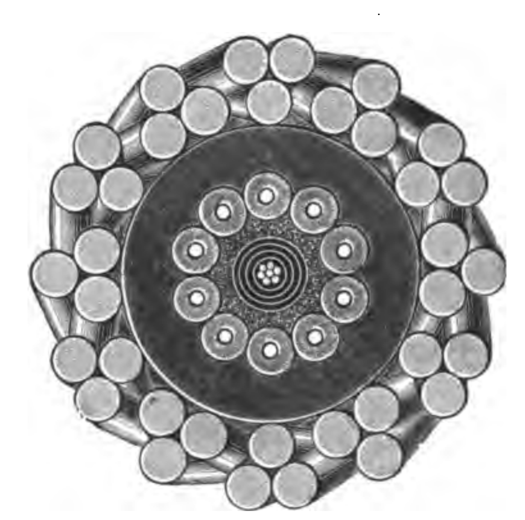


Fig. 445. Das Küstenkabel vom Jahre 1866.

Die Art und Weise, wie der transatlantische Telegraph seine Erregungen uns bemerkbar macht, wie er spricht, ist sehr verschieden von der der gewöhnlichen Landtelegraphen, bei denen ganz andre Verhältnisse der Leitung, Isolierung u. s. w. stattfinden.

Die Entfernungen der Stationen bei Landtelegraphen, zwischen denen gesprochen wird, ist eine verhältnismäßig kurze, besonders aber der die äußere Umgebung des Leitungsdrahtes bildende Körper „Luft“ von wesentlich anderm Einfluß auf die elektrischen Verhältnisse als das Wasser, welches die submarinen Drähte umgibt.

Dann aber entstehen, so oft durch das submarine Kabel ein Strom geht oder unterbrochen wird, in der umgebenden Wassermasse durch Induktion Ströme, welche wiederum auf den Zustand des Kabels einwirken, in demselben Ströme hervorrufen und es notwendig machen, daß man nach jedem zeichengebenden Strome sofort einen zweiten schwächeren, aber entgegengesetzten Strom durch den Draht gehen läßt, welcher den Induktionsstrom aufhebt. Das Haupthindernis aber, welches sich der submarinen Telegraphie der Landtelegraphie gegenüber in den Weg stellt, liegt darin, daß Leitungsdraht, Guttaperchahülle und Wasser sich genau zu der Wirkung einer Leidener Flasche vereinigen, bei welcher der Leitungsdraht das innere Belege, die Guttaperchahülle das Glas und das Meereswasser das äußere Belege abgibt. Diese Flasche ist etwas in die Länge gezogen, denn sie reicht von einem Kontinent zum andern, und wenn man das Kabel von diesem Gesichtspunkte aus betrachtet, wird man nicht mehr darüber erstaunen, daß eine gewisse Ladung der Zeichengebung vorausgehen muß, ehe eine Wirkung an dem andern Ende ausgeübt werden kann. Dieser Umstand tritt bei den langen submarinen Leitungen so bedeutend auf, daß es z. B. auf einer Linie zwischen Frankreich und Australien einer Zeit von ungefähr 10 Minuten bedürfen würde, bis der Leitungsdraht geladen und der kontinuierliche Strom hergestellt, also ein telegraphisches Zeichen möglich wäre.

Wir haben aber bei der Betrachtung der Leidener Flasche gesehen, daß die Spannungen der Elektrizitäten der beiden Belege, also hier des Drahtes und des Meerwassers, wenn sie

zu stark werden, das Hindernis, welches das Belege ihrer Vereinigung entgegensetzt, durchbohren und durch die Isolierung hindurch sich einen Weg bahnen. Tritt der Fall bei einem submarinen Kabel ein, daß durch die elektrische Spannung die isolierende Guttaperchahülle des Drahtes durchbrochen wird, so ist die Leitung zerstört und, da man in den meisten Fällen den schadhaften Punkt nur sehr schwierig entdecken wird, das Unternehmen gescheitert. Ehe man durch die Praxis von diesen Vorgängen genaue Kenntnis erhielt, sind auf solche Weise manche Kabel unbrauchbar geworden. Man glaubte, um die Widerstände, welche die Länge der Leitung verursacht, überwinden zu können, starke Batterien anwenden zu müssen, während man gerade dadurch zwischen der Elektrizität im Draht und der von dieser im Wasser gebundenen eine sehr gefährliche Spannung hervorrief, welche an ohnehin schwachen Stellen der Isolierung leicht einen durchbohrenden Funken veranlassen kann.

Um die elektrische Spannung zwischen dem Leitungsdraht und der äußeren Hülle auf ein ungefährliches Maß zurückzuführen, darf man nur schwache Batterien zur Zeichengebung benutzen. Ein schwacher Strom, zumal da er bei seinem Durchgange durch den Draht noch einen Teil seiner Intensität verliert, wird aber am andern Ende auch nur eine schwache Wirkung hervorbringen können, und deswegen sind bei submarinen Telegraphen, deren Leitungen beträchtliche Entfernungen überziehen, die gewöhnlichen Apparate, wie sie an unsern Schreib- und Drucktelegraphen zur Anwendung kommen, nicht zu gebrauchen.

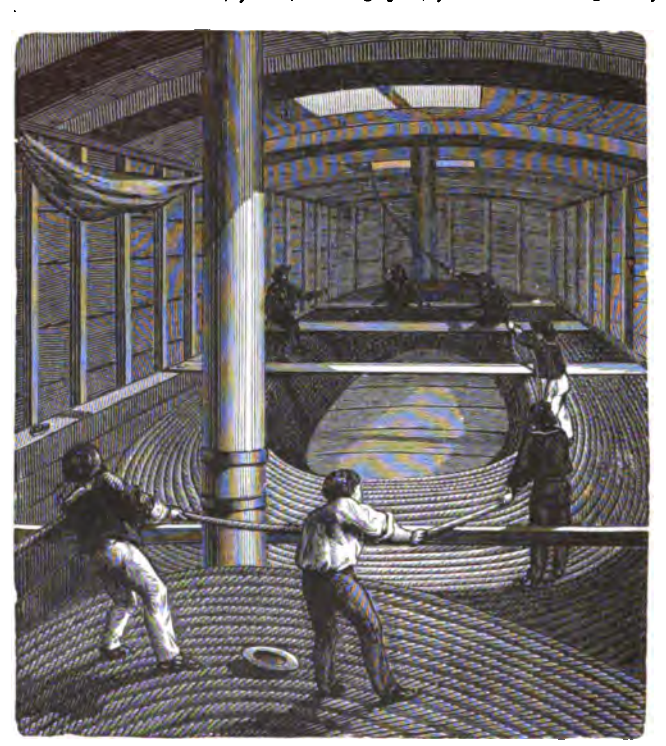


Fig. 446. Kabellagerung im Tiefraume eines Schiffes.

Deutschland ist heute nicht nur über, sondern auch unter der Erde mit Telegraphenanlagen durchzogen, welche zwischen den Hauptverkehrsorten und Geschäftszentren ein von äußeren Zufälligkeiten unabhängiges Netz bilden. Bei Einführung dieser unterirdischen Leitung erschien es wünschenswert, im eignen Lande Kabel anzufertigen. Eine Fabrik wurde zu diesem Zwecke nach dem Muster der Kabelfabrik der Gebrüder Siemens in Woolwich, von der früher der Bedarf an Kabeln in Deutschland gedeckt wurde, im Jahre 1865 von Siemens & Halske angelegt und 1869 im Bau beendigt. Sie bildet einen Teil der Telegraphenbauanstalt derselben Firma.

Die beiden mächtigen Hauptgebäude, deren Längsdurchschnitt unser Bild darstellt, sind mit dem anstoßenden Kesselhause 85 m lang, bei einer Höhe von 18 resp. 22 m und einer lichten Breite der Arbeitersäle von 8 m. Anfangs 1877 wurden die in elf Arbeitssälen verteilten Maschinen durch drei Dampfmaschinen mit einer Gesamtleistung von 75 Pferdestärken in Betrieb gesetzt. Zwei Dampfmaschinen treiben die durch alle Säle hindurchlaufenden Wellenleitungen, eine dritte die Guttaperchapressen.

Durch ihre Lage im Binnenlande ist die Berliner Kabelfabrik mehr auf die Herstellung von unterirdischen Kabeln angewiesen. Sie fertigt die zu feinen Seilchen zusammengewundenen Kupferseelen, überzieht sie mit Guttapercha, vereinigt dann bei stärkeren

Kabeln auch wohl mehrere solcher bereits isolierter Leitungsadern zu einer mehrfachen Kupferseele und bewirkt schließlich das Überspinnen derselben mit einem schützenden Eisendrahtpanzer.

Die von der Fabrik bis jetzt angefertigten Leitungsadern würden, in einer Richtung aneinander gefügt, ungefähr die Größe des Erdumfanges ausmachen.

Treten wir in eines unsrer Telegraphenbüreaus, so hören wir ein lautes Picken der Schreibstifte, die Räder der Uhrwerke laufen schnarrend ab und das geübte Ohr liest aus den Unterbrechungen des Tasters heraus, was nach Marseille telegraphiert wird, während es gleichzeitig eine Botschaft aus Petersburg empfängt. Die entlegensten Orte der Erde sprechen hörbar miteinander. Nicht so auf einer Station des atlantischen Telegraphen.

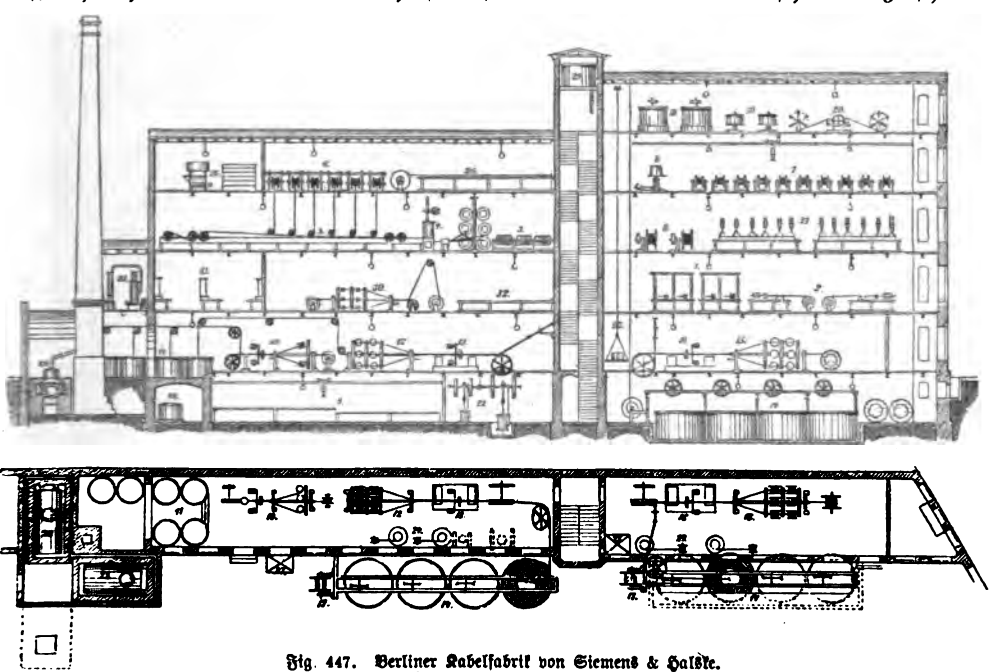


Fig. 447. Berliner Kabelfabrik von Siemens & Halske.

1. Kupferdrahtwickelmaschinen; 2. Kupferlitzenspinnmaschinen; 3. Guttaperchaknetmaschinen; 4. Guttaperchapressen; 5. Abkühlungstrog für die Adern; 6. Aderaufwickelmaschinen; 7. Nachsehersaal für Adern; 8. Aderwickelmaschinen; 9. Prüfbassins für Adern; 10. Kabelseelenspinnmaschine; 11. Prüfbassins für Kabelseelen; 12. Drahtbedeckungsmaschine; 13. Asphaltbedeckungsmaschine; 14. Prüfbassins für Kabel; 15. Drahtbedeckungsmaschine für Flußkabel; 16. Asphaltbedeckungsmaschine; 17. Kabelwickelmaschinen; 18. Kochgefäße für Asphalt; 19. Zentrifugen für Jute; 20. Jutewickelmaschinen; 21. Kälteerzeugunsmaschine; 22. Dampfkessel; 23. Dampfmaschinen; 24. Eisendrahtwickelmaschinen; 25. Kochgefäße für Compound; 26. Ziehbank für Bleikabel; 27. Fahrstühle; 28. Vakuumgefäß zum Tränken der Kabel; 29. Wasserreservoir; 30. Kleine Kabelspinnmaschine; 31. Büreau für elektrische Prüfungen; 32. Reparaturwerkstätte; 33. Klöppelmaschinen für Kabel.

Während dort nach allen Himmelsgegenden Botschaften gingen und von allen Nachrichten kamen, dem Verkehr in einem Taubenhaus vergleichbar, ist es hier nur eine einzige Stimme, der wir lauschen. Eine Stimme, deren Ursprung so weit von uns entfernt liegt, daß wir den Atem anhalten, um ihr Säuseln nicht zu überhören — ringsum verbreiten wir die Stille der Nacht, denn wir erwarten einen Ruf von der andern Hälfte der Erde, der sich nicht verwischen darf in dem Geräusch unsrer Umgebung.

Inmitten eines weiten dunklen Zimmers sitzt ein Mann, aufmerksam durch ein kleines Fernrohr eine an einem langen, von der Decke herabhängenden Faden schwingende Magnetnadel beobachtend. Alles ist vorgesehen, damit nichts den leichtbeweglichen Körper störe, weder ihn in Schwingungen versetze, noch ihn aufhalte; selbst der leiseste Luftstrom wird abgehalten, denn die leiseste Zuckung bedeutet Zeichen von der andern Hemisphäre, die leichtsinnigerweise durchaus nicht verwirrt werden dürfen. Um die kleinen Ausschläge der Nadel, bald rechts, bald links, aus deren Kombinationen das Alphabet zusammengesetzt ist, sicher erkennen zu können, trägt die Magnetnadel einen kleinen Spiegel, in welchem der Beobachter

das reflektierende Bild einer mehrere Meter entfernten und hell erleuchteten Skala mit dem Fernrohr verfolgt und den Sinn der kleinsten Schwankung aus der leise zuckenden Bewegung des Spiegelbildes unterscheidet, das auf einem Buchstaben der Skala einen Moment haften bleibt. Denn ein fast verschwimmender Hauch nur ist die Kraft, die von der andern Erdhälfte herüberkommt, und die subtilsten Apparate und Methoden allein lassen ihr Vorhandensein erkennen.

Elektrische Uhren und Weckapparate. Der Gedanke, die Zeit zu telegraphieren, mußte sehr bald auftauchen, nachdem überhaupt die elektrische Fernschreibung die ersten Anfänge überschritten hatte. Es waren auch hier die beiden bedeutenden Forscher, Steinheil und Wheatstone, welche zuerst, und zwar Steinheil schon 1839, Wheatstone das Jahr darauf, die Einrichtung galvanischer Uhren versuchten. Seit jener Zeit haben sich fast alle Erfinder auf dem Gebiete der praktischen Telegraphie und ebenso Uhrmacher, Astronomen und Physiker mit der Vervollkommnung der galvanischen Uhren beschäftigt. Namentlich aber haben die Konstruktionen von Bain, Stöhrer und Scholle, Siemens & Halske u. a. durch besonders zweckmäßige Änderungen sich hervorgethan.

Das Wesen der elektrischen Uhren beruht darauf, daß mit einer gewöhnlichen, durch Gewichte getriebenen Normaluhr mittels Leitungsdrähten die entfernten Zeitzeiger in Verbindung gesetzt sind. Da, wo sich die Normaluhr befindet, steht zugleich auch die Batterie für die Erzeugung des galvanischen Stromes. Auf jeder entfernten Station aber ist ein Elektromagnet angebracht, welcher durch den von jener Batterie ausgehenden Strom erregt wird. Er zieht dann, wie bei dem Wheatstoneschen Zeigertelegraphen, ein ankerförmiges Eisenstück an sich und läßt dadurch jedesmal einen Zahn eines Steigrades frei. Entsprechend der Art, in welcher auf der Hauptstation die Kette geschlossen wird, ob alle Sekunden oder alle Minuten, oder sonst in einem Zeitintervall, ist nun auf der entfernten Station das Steigrad mit einer Zahneinteilung versehen, welche den Zeiger auf dem Zifferblatt dieselbe Fortrückung machen läßt. Die Umsetzung von Minuten in Stunden u. s. w. erfolgt dann in gewöhnlicher Weise durch übertragende Zahnräder.

Wheatstone hat endlich auch die augenblickliche Wirkung des elektrischen Stromes zur Ausführung eines sehr interessanten Chronoskopes benutzt, welches den Zeitunterschied zweier überaus rasch aufeinander folgender Momente sichtbar und meßbar macht. Es zeigt auf nicht zu mißdeutende Weise die Zeit von dem Momente, in welchem die Kanonenkugel im Rohre ihre Bewegung begann, bis zu dem, wo sie das Rohr verließ, die Geschwindigkeit, mit welcher die Nervenreize dem Gehirn übermittelt werden und die Zeitdauer, welche der Wille braucht, um auf seinem Nervenwege die Muskeln in Thätigkeit zu setzen.

Das Charakteristische dieses Apparates besteht in einer schnell um ihre Achse rotierenden Scheibe, deren Geschwindigkeit durch ein Uhrwerk reguliert wird. Dem mit einer Stearinschicht überzogenen äußersten Ringe der Scheibe steht ein scharfer Stift gegenüber, so mit einem Elektromagnet verbunden, daß er beim Eintreten des elektrischen Stromes vorgeschnellt wird und die glatte Stearindecke so lange ritzt, als der Strom anhält und der Anker an dem Magneten haftet. Die Scheibe selbst ist mit einer möglichst feinen Kreisteilung versehen, von welcher bei einer zehnmaligen Umdrehung in der Sekunde ein Grad $^1/_{3600}$ Sekunde Zeit braucht, um vor der Spitze des Stiftes vorbei zu passieren. Macht dieser also einen Strich über 9 Grade hinweg, so ist die Zeit, während welcher der Strom geschlossen war = $^9/_{3600}$ oder $^1/_{400}$ Sekunde; man kann aber mit Genauigkeit Zehntelgrade ablesen, von denen einer $^1/_{36000}$ einer Sekunde entsprechen würde.

Die Art und Weise, wie die beiden in ihrem Zeitunterschiede zu messenden Momente Schließen oder Öffnen der galvanischen Batterie bewirken, wird für jeden besondern Fall auch besonders erfunden werden müssen. Die Kanonenkugel z. B. würde man zwischen die beiden von außen in das Kanonenrohr eingeführten Poldrähte so einschalten, daß in ihrer Ruhelage der Strom durch sie hindurchgeht, während sie durch Zerreißen eines feinen, quer vor die Mündung gespannten Drahtes einen andern Strom unterbrechen könnte.



Magnets Geheimnis, erkläre mir das!
Kein größer Geheimnis als Liebe und Haß.
Die endliche Ruhe wird nur verspürt,
Sobald der Pol den Pol berührt.
Drum danket Gott, ihr Söhne der Zeit,
Daß er die Pole für ewig entzweit.

Goethe.

Der Kompaß.

Die Alten kannten natürliche Magnete. Vorkommen derselben. Tragkraft und Richtkraft. Die Pole. Künstliche Magnete und ihre Herstellung. Die Erfindung des Kompasses. Einrichtung desselben. Erdmagnetismus. Deklination, Inklination und Intensität. Variationen des Erdmagnetismus und ihre Bestimmung. Magnetische Stationen. Das Nordlicht ein magnetisches Ungewitter.

Es gibt in der Natur einen schwärzlichen, unscheinbaren Stein, dessen Eigenschaften wertvollere sind als die des kostbarsten Diamanten. Derselbe schmückt weder, noch kann man seine Substanz zu etwas anderm verarbeiten als etwa zu einem Stückchen Eisen; der Nutzen, den er gewährt, muß daher in einem ganz besonderen Verhalten liegen. In der That, man erkennt sogleich, wenn man ein solches Mineral durch eine Schachtel mit Eisenfeilspänen zieht, daß in demselben eigentümliche Kräfte wirkend sein müssen, denn von den Feilspänen sind ganze Partien an dem Steine haften geblieben und haben sich bartähnlich an seiner Außenfläche, vorzugsweise in großer Menge aber an zwei entgegengesetzt gelegenen Punkten, gruppiert. Und wenn wir den Stein in ein auf dem Wasser schwimmendes Schiffchen legen, so mögen wir den Kiel desselben nach einer Himmelsgegend stellen, nach welcher wir wollen, immer wird es sich wieder drehen und nach einer ganz bestimmten Richtung zeigen, so daß ein gewisser Punkt des Steines immer dem Nordpol, ein andrer dem Südpol zugerichtet ist. Und diese beiden merkwürdigen Punkte, die man dieser Richtkraft wegen selbst mit dem Namen Nordpol und Südpol entsprechend bezeichnet, sind gerade jene, an denen sich die Eisenfeilspäne so besonders reichlich angesetzt hatten.

Wir brauchen es nicht erst noch auszusprechen, daß dieser Stein das unter dem Namen **Magnet** oder **Magnetstein** bekannte Mineral ist, dessen wundervolle Eigenschaft, wie der Faden der Ariadne, dem Schiffer den Weg zeigt in Nacht und Nebel auf der unbegrenzten Meeresfläche und ihn mit einer Sicherheit führt, als befände er sich auf einer gebahnten Straße.

Der Magnet ist ein Eisenerz, er besteht aus Eisenoxyd-Oxydul, einer Verbindung, die sich von dem gewöhnlichen Eisenroste nur durch einen etwas geringeren Gehalt an Sauerstoff unterscheidet. Er hat seinen Namen von der lydischen Stadt Magnesia, in deren Nähe er in Bergwerken gefunden wurde; außerdem hieß er auch lydischer Stein, Stein des Herkules u. s. w. und diente den Priestern der Alten schon, um ihren mysteriösen Gebräuchen ein höheres, geheimnisvolles Ansehen zu geben.

Lucrez erzählt von eisernen Ringen, die, an der Decke der Tempel aufgehangen, einer den andern trugen, lediglich durch die Anziehung, welche sie an den Berührungsstellen aufeinander ausübten. Man kannte die Wirkung des Magnets durch eherne Schalen, und die Bangigkeit unerfahrener Zeiten übertrieb diese Wirkung in die Ferne so, daß man von großen Magnetfelsen im Ozean fabelte, welche von weitem schon alles Eisen an sich zögen und die Schiffe unaufhaltsam von ihrem Wege ablenken müßten, noch ehe man die Nähe der gefährlichen Klippe durch etwas andres ahnen könne. Dergleichen Mythen erhielten sich zum großen Nachteil der Seefahrer lange Zeit, und wir dürfen es als ein eigentümliches Zeichen ansehen, daß gerade dieselbe Kraft, welche man für so gefahrbringend ansah, durch eine später erkannte Äußerungsweise den Mut zur Durchschiffung des unbekannten Weltmeeres belebte.

In Europa scheint man im Altertum nur die Tragkraft des Magneten bewundert zu haben; hätte man seine eigentümliche Richtkraft gekannt, so lag die Anwendbarkeit derselben als Führer bei Land- und Seereisen so nahe, daß sie wohl kaum übersehen worden wäre. Die Chinesen dagegen hatten, wie wir erfahren, schon 1900 und mehr Jahre vor unsrer Zeitrechnung kleine magnetische Wagen, welche ihnen den Weg durch die unermeßlichen Steppen der Tatarei zeigten, denn ein darauf angebrachtes Männchen wies immer mit dem ausgestreckten Arme nach Süden. Im dritten Jahrhundert n. Chr. bedienten sich die Chinesen schon einer an einem Seidenfaden aufgehängten Magnetnadel. Im Abendlande und wahrscheinlich zuerst bei den seefahrenden Nationen des Nordens hing man den Stein selbst an einem Faden auf oder man legte ihn auf ein Brettchen und ließ ihn auf ruhigem Wasser schwimmen.

In dem altfranzösischen Roman von der Rose, der 1180 geschrieben worden ist, wird des Magnetes unter dem Namen Marinette gedacht, was schon auf Beziehungen zur Schiffahrt schließen läßt. Die eigentliche Erfindung dieser Anwendung schreibt man — obwohl einige sagen, **Marco Polo** habe den Gebrauch von den Chinesen erlernt — einem gewissen **Flavio Gioja** aus dem Neapolitanischen zu, der um 1300 lebte. Weil der Magnet den Reisenden leitete, hieß er bei den nordischen Völkern **Leitstein** oder **Leitarstein**, und es ist wahrscheinlich, daß sehr frühzeitig schon Magnete in Norwegen und Schweden gefunden wurden, denn ihr Vorkommen ist durchaus nicht an die lydischen Bergwerke gebunden; man trifft sie in großer Menge in Lagern und Stöcken bei Dannemora, Arendal, in Sibirien, England, im Harz, bei Pirna u. s. w., wo der Magneteisenstein, der aber freilich nicht durchgängig alle die bemerkten Eigenschaften in gleich hohem Grade hat, als das beste Erz zur Gewinnung von Eisen verarbeitet wird.

Die natürlichen Magnete sollen ihre Kraft erst bekommen, wenn sie aus der Erde in die freie Luft kommen. Man kann sie in ihrer Wirkung, namentlich in ihrer Tragfähigkeit, sehr bedeutend verstärken, wenn man ihre beiden Polseiten mit eisernen Schienen bekleidet, welche in zwei dickere, einander nahe stehende Enden auslaufen. Diese beiden Enden verbindet man dann durch einen Eisenstab, den **Anker**, und ein dergestalt **armierter** Magnet vermag oft mehr als das Zweihundertfache der früheren Last festzuhalten. Obwohl es als Regel gilt, daß jeder Magnet nur zwei Pole, einen Nord- und einen Südpol, und dazwischen eine neutrale Stelle hat, so kommen doch auch Fälle vor, wo mehrere Punkte größter Anziehung, also mehrere Pole vorhanden sind; es ist dies aber selten und immer eine Folge von Unregelmäßigkeiten in der inneren Struktur des Steins.

Übrigens erstreckt sich die Anziehung nicht bloß auf Eisen, sondern in geringerem Grade folgen auch Nickel und Kobalt dem Magneten; ja Faraday und andre haben nachgewiesen, daß der Magnetismus auf alle Körper einen nicht zu verkennenden Einfluß ausübt. Es ist derselbe als eine eigentümlich gerichtete Abstoßung zu erkennen und Diamagnetismus genannt worden. Obwohl die Untersuchungen über diesen Gegenstand noch lange nicht geschlossen sind, so lassen sich doch mit absoluter Sicherheit alle jene überschwenglichen Folgerungen, die man aus dergleichen Beobachtungen auf das diamagnetische Verhalten des menschlichen Körpers gezogen hat, und damit der ganze Spuk von Mesmerismus, tierischem Magnetismus, Somnambulismus, Od, Tischrücken, Wünschelrute und was sonst noch mit hineingerechnet worden, als das müßige Traumgebäude naturwissenschaftlich ungebildeter Phantasten bezeichnen.

Künstliche Magnete. Die magnetischen Eigenschaften lassen sich auch auf künstliche Weise dem Eisen und Stahl mitteilen. Ein Mittel dazu haben wir in den elektrischen Strömen (Elektromagnete, s. S. 365), und Ampère hat daraus eine einfache Theorie über das Wesen des Magnetismus abgeleitet. Danach ist derselbe nur eine eigentümliche Erscheinungs- und Wirkungsweise bewegter Elektrizität. Nehmen wir an, daß den magnetischen Körper parallele, geschlossene, d. h. in sich zurücklaufende, elektrische Ströme umkreisen, so können wir alle magnetischen Erscheinungen mit den bekannten Erfahrungen über die Wirkung elektrischer Ströme aufeinander erklären. Wenn wir den Magnet mit dem Nordpol auf uns gerichtet halten, so gehen die Ströme auf der linken Seite herab, auf der rechten herauf; steht der Südpol uns entgegen, so ist es umgekehrt.

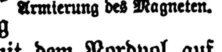


Fig. 449. Armierung des Magneten.

Ein Stück Eisen, welches wir in die Nähe des Poles eines starken Magneten bringen, erhält magnetische Eigenschaften. Das ist eine Thatsache. Die Ursache davon ist, daß durch die elektrischen Ströme des Magneten in dem bisher unmagnetischen Eisenstück die entsprechenden Kreisströme erregt werden. Oder wenn wir von der Voraussetzung ausgehen, daß ebenso wie in jedem Körper elektrisches Gemisch vorhanden ist, welches durch Annäherung eines elektrischen Körpers nur in seine positiven und negativen Bestandteile gesondert wird, auch in dem Eisen schon elektrische Ströme kreisen, aber nach allen möglichen Richtungen und deshalb ohne Wirkung nach außen, weil sie sich in dieser gegenseitig aufheben, daß dann diese schon vorhandenen Ströme durch die Einwirkung der bestimmt gerichteten Ströme des genäherten Magneten sämtlich in parallele Lage gezwungen werden, nach Analogie von Fig. 389. Es ist dann zugleich selbstverständlich, daß dem Nordpol des ursprünglichen Magneten gegenüber ein Südpol und dem Südpol gegenüber ein Nordpol entsteht (Fig. 393), und daß Nordpol und Südpol sich anziehen, die gleichnamigen Pole dagegen sich abstoßen, weil in diesen die Ströme eine entgegengesetzte Richtung haben. Diese Erregung des Magnetismus durch Näherung ist gewissermaßen mit der Verteilungswirkung der Elektrizität zu vergleichen. In den vom Magnet angezogenen Eisenfeilspänen sind auch Ströme erregt worden, und es ist nicht die Substanz des Eisens, welche angezogen wird, sondern eben die Einwirkung der parallel gerichteten Ströme aufeinander ist es, welche als gegenseitige Anziehung hervortritt.

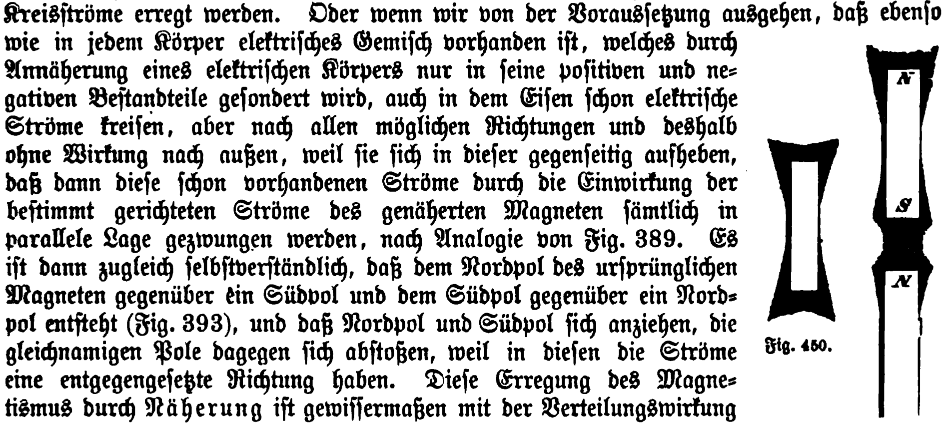


Fig. 450.

Fig. 451. Mitteilung des Magnetismus durch Verteilung.

Da harter Stahl die so erlangte magnetische Beschaffenheit dauernd behält, so erzeugte man sich künstliche Magnete, indem man Stahlstäbe immer in derselben Richtung mit einem kräftigen, schon vorhandenen, gleichviel ob natürlichen oder künstlichen Magnet bestrich. Jetzt bedient man sich zu diesem Behufe fast ausschließlich der elektrischen Ströme. Mehrere solcher magnetisierten Stahlstäbe vereinigt man passend zu einem Bündel (einem sogenannten magnetischen Magazin), und gewöhnlich biegt man sie in Form eines Hufeisens zusammen. In demselben müssen die gleichnamigen Pole übereinander liegen.

Wir haben noch auf eine Eigentümlichkeit der Magnete hinzuweisen, welche sehr geeignet ist, die Ampèresche Theorie zu bestätigen. Wenn man nämlich einen stabförmigen Magnet in der Mitte, da, wo seine neutrale Region ist, auseinander bricht, so bekommen

die abgebrochenen Stücke an der Bruchfläche jedes einen Pol, welche einander entgegengesetzt sind. Dem abgebrochenen Nordpol ordnet sich ein neuer Südpol, dem im andern Stück übriggebliebenen Südpol ein neuer Nordpol zu, so daß man auf diese Weise zwei gesonderte Magnete erhält. Umgekehrt, wenn man an den Nordpol eines Magneten den Südpol eines andern anlegt, verschwindet hier die magnetische Wirkung, und nur an den beiden Enden bleiben die beiden Pole. Zur Erklärung dieser Erscheinung darf man sich nur die Spirale (s. Fig. 393) vergegenwärtigen und dieselbe in der Mitte durchschnitten, beziehentlich durch Anfügen eines gleichen Stückes, Nordpol an Südpol, verlängert denken.

Der Kompaß oder die Bussole. Diese bei weitem bedeutungsvollste Anwendung der magnetischen Erscheinungen ist weiter nichts als eine stählerne Magnetnadel, die sich um ihren Mittelpunkt vollständig frei bewegen kann. Die bestimmte Richtung, welche die Nadel sich selbst überlassen immer einnimmt, dient als Wegweiser bei den verschiedensten Unternehmungen. Nicht nur Seefahrer bedienen sich ihrer, auch Ingenieure bei ihren oberirdischen, Bergleute bei ihren unterirdischen Vermessungen, Geologen zur Bestimmung des Streichens und Fallens der Gebirgsschichten, Landreisende, Astronomen und Physiker machen von ihr Gebrauch, und entsprechend diesen mannigfachen Anwendungen ist auch die Bussole verschieden eingerichtet. Bald ist die Nadel an einem Faden aufgehängt, bald schwingt sie auf einer senkrechten Spitze oder hat sonst welche Stützpunkte. Die einfachste Form ist diejenige, wo die Magnetnadel in der Mitte mit einem entweder aus hartem Stahl oder aus poliertem Achat gefertigten Hütchen versehen ist, welches auf der Spitze eines senkrechten Stiftes sich dreht. Unterhalb der Nadel befindet sich ein eingeteilter Kreis, von welchem man die Größe der Abweichung irgend einer Richtung von der Nordlinie bestimmen kann.



Fig. 452. Hufeisenmagnet.

Der Schiffskompaß ist insofern etwas anders eingerichtet, als hier die geteilte Kreisscheibe von Papier auf Marienglas oder Glimmer geklebt, mit der Nadel fest vereinigt, sich mit dieser dreht und die Abweichungen durch eine außerhalb liegende Marke, welche der Längslinie des Schiffes entspricht, bezeichnet werden. Bei den Chinesen hat dieser Kreis eine Einteilung in 24, bei den Japanesen in 12 Teile, bei unsern Bergleuten, von welchen der Gebrauch auf Ingenieure, Geologen u. s. w. übergegangen ist, eine Teilung in zweimal 12 Abschnitte, Stunden oder horae genannt (s. Fig. 453). Wissenschaftliche Bestimmungen macht man indessen nach der sonst üblichen Kreisteilung in 360 Grade. Die Nadel ist bei den gewöhnlichen Bussolen in einer runden, oben mit einem Glasdeckel versehenen Dose angebracht. Um sie für die Zeit, wo man ihrer Angaben nicht bedarf, in Ruhe zu halten, versieht man sie mit einer Arretierung, welche die Nadel von ihrer Unterlage abhebt. Der Schiffskompaß ist wegen der heftig schwankenden Bewegung in einer sogenannten Cardanischen Aufhängung befestigt, das sind zwei ineinander leicht bewegliche Ringe, deren Achsen rechtwinkelig aufeinander stehen (s. Fig. 454).

Erdmagnetismus. Fragt man nach der Ursache, welche der Magnetnadel ihre Richtung gibt, so wird schon die oberflächlichste Überlegung zeigen, daß dieselbe eine von außen wirkende sein muß. Denn es kann in einem Körper eine noch so starke Kraft mächtig sein, sie wird denselben nicht bewegen und richten können, wenn ihr nicht auch außerhalb gewissermaßen ein Stützpunkt gegeben ist. Und da wir nun leicht erproben können, daß den Magnet von seiner Richtung nichts abzulenken vermag, als wieder Magnetismus oder, was dasselbe ist, elektrische Ströme, so liegt es nahe, als die Ursache der magnetischen Richtkraft, die wir auf der ganzen Erde und bis in die höchsten Regionen des Luftkreises beobachten können, eine allgemein verbreitete magnetische Beschaffenheit der Erde anzunehmen.

Die Erde verhält sich wie ein großer Magnet; sie hat zwei Pole, deren einer in der Nähe des Nordpols, deren andrer in der Nähe des Südpols liegen muß, denn annähernd fällt auf der ganzen Erdoberfläche die Richtung der Magnetnadel, der magnetische Meridian, mit der Mittagslinie oder dem Erdmeridian zusammen. Vollständig ist freilich die Übereinstimmung nicht, ja es unterliegen die erdmagnetischen Verhältnisse nicht einmal einer unwandelbaren Beständigkeit.

Die Bestimmung des magnetischen Zustandes der Erde bleibt daher fortwährend eine der wichtigsten Aufgaben der Physik, denn wir haben es hier mit einer allgemein thätigen Kraft zu thun, deren Einflußsphäre auf die irdischen Verhältnisse wir noch nicht einmal vollständig zu übersehen vermögen. Besonders hervortretende Erscheinungen aber, wie das Nordlicht, geben uns genügenden Hinweis auf die große Bedeutsamkeit, welche dem Magnetismus in den irdischen Zuständen zuzuschreiben ist. Namentlich hat sich Humboldt um diesen Teil der Erdlehre unsterbliche Verdienste erworben. Auf seine kräftige Anregung ist über den ganzen Erdraum ein Netz von meteorologischen Stationen gezogen worden, in denen nach einem gemeinsamen Plane zu festgesetzten Stunden die Veränderungen im Luftdruck, Feuchtigkeitsgehalt, in der Temperatur, Windrichtung u. s. w., namentlich aber das magnetische Verhalten unsres Planeten, gemessen und verzeichnet werden, so daß man im stande ist, durch Vereinigung der vereinzelt gemachten Beobachtungen ein genaues Bild über den allgemeinen Zustand der Erde, soweit er von diesen Kraftäußerungen abhängig ist, sich zu machen. Und wenn Humboldt die allgemeine Aufmerksamkeit und thatkräftige Unterstützung diesem wichtigen Gegenstande zuwandte, so haben andre durch Erfindung ausgezeichneter Methoden der Beobachtung und durch Diskussion der so erhaltenen Resultate die noch sehr junge Wissenschaft schon auf das glänzendste bereichert. Namentlich sind es Gauß und Weber, deren geniale Beobachtungsmethoden, überall angewandt, zum Ausbau eines der wichtigsten Teile der Naturlehre das Wesentlichste beigetragen haben. Durch die von ihnen erfundenen Mittel ist es möglich geworden, den geheimnisvollen Wandlungen jener Naturkraft nachzuspüren und deren Äußerung zu erkennen, auch wenn sie Tausende von Meilen von uns entfernt stattfindet.

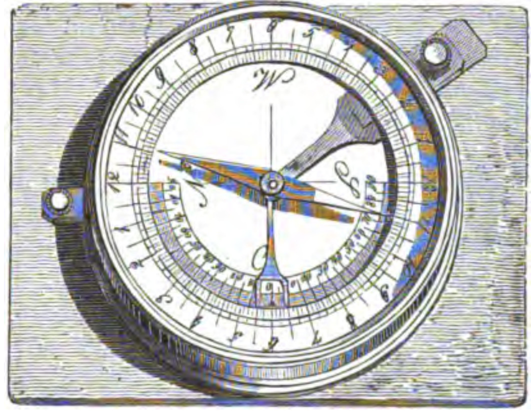


Fig. 453. Bergmannsbussole.

Deklination, Inklination und Intensität. Wenn wir die Erde einem wirklichen Magnete vergleichen und den Pol, der in der Nähe des Nordpols liegt, den magnetischen Nordpol nennen, so stellt eigentlich derjenige Punkt der Magnetnadel, welcher sich jenem Nordpole zurichtet, den magnetischen Südpol der Nadel dar. Wir nennen ihn zwar nicht so, sondern entsprechend der Himmelsrichtung, der er zugewandt ist, auch Nordpol; diese Benennung ist zwar falsch, aber da sie keinerlei Beziehung zur inneren Natur des Magnetismus selbst hat, so wollen wir sie auch, die so lange gebräuchlich gewesen ist, getrost beibehalten.

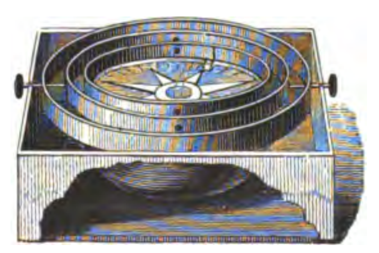


Fig. 454. Schiffskompaß in Cardanischer Aufhängung.

Hängen wir nun eine Magnetnadel derart auf, daß sie sich nicht nur in horizontaler, sondern auch in vertikaler Ebene frei um den Aufhängungspunkt drehen kann, so bemerken wir, wie sie neben ihrer Richtung nach dem magnetischen Nordpol auch eine bestimmte Neigung gegen den Horizont einnimmt und sich, so oft man sie auch aus dieser Lage bringt, immer wieder in dieselbe zurück begibt. Wir werden also annehmen können, daß sich der Punkt der magnetischen Anziehung in der verlängerten Richtung der Magnetnadel befindet. Wie man die Richtung der horizontalen Kompaßnadel durch den Winkel, den sie mit dem astronomischen Meridian macht, die sogenannte Deklination, bestimmt, die man, je nachdem die Abweichung nach Osten oder nach Westen stattfindet, östliche oder westliche Deklination nennt, so bestimmt man jene Neigung, die Inklination, durch den Winkel mit der Vertikalen. Man bedient sich dazu eines besondern Instrumentes, des Inklinatoriums,

dessen Einrichtung aus Fig. 455 leicht erkannt wird. Deklination und Inklination sind für verschiedene Orte der Erde verschieden, und man bezeichnet diejenigen Linien, welche die Oberflächenpunkte der Erde von gleicher Inklination miteinander verbinden, durch den Namen **magnetische Kurven**. Stellen die Deklinationskurven die magnetischen Meridiane vor, so bezeichnen die Inklinationskurven gewissermaßen die Parallelkreise (s. Fig. 456). Die Beobachtung der Deklination, der Thatsache also, daß die magnetischen Pole nicht mit den Polen der Erde zusammenfallen, finden wir zum erstenmal in den Schiffsbüchern des **Christoph Kolumbus** verzeichnet, welche derselbe auf seiner ersten Entdeckungsfahrt 1492 führte. Unter dem 13. September heißt es darin: „Beim Anbruch der Nacht zeigte der Kompaß eine Abweichung gegen Nordwesten, am Morgen war die Mißweisung ein wenig geringer.“ Den Grund der Erscheinung aber suchte der kühne Seefahrer nicht in den magnetischen Verhältnissen der Erde, über deren Natur man ja damals sehr mangelhafte Begriffe hatte, sondern in dem Umstande, daß der Polarstern nicht den astronomischen Pol genau anzeigt, sondern eine Kreisbewegung macht, welcher die Nadeln nicht folgen, und mit dieser Erklärung beruhigte er, unterstützt durch das zufällige Vorkommnis, das am folgenden Morgen sich nicht wieder bemerklich machte, das Schiffsvolk, welches die wiederholt sich zeigende Erscheinung mit Angst aufnahm. Erst auf dem Rückwege aus Westindien sah Colon seinen Irrtum ein und erkannte, daß es im Atlantischen Meere eine Linie der Rechtweisung gebe, nach deren Überschreitung die Magnetnadel eine Ablenkung von ihrer Nordrichtung erlitten. Dabei müssen wir vorgreifend bemerken, daß die Richtung der Magnetnadel im Laufe der Zeit Änderungen erleidet und 1492 die Nadeln auf demselben Punkte anders wiesen als heute. Unter den beiden Polen stehen die Magnetnadeln senkrecht, die Deklination verschwindet gänzlich. Die Inklination dagegen nimmt nach dem Äquator hin ab, und es gibt hier rings um die Erde einen Gürtel, wo sie gleich Null ist, das heißt, wo die Magnetnadel, von beiden Polen gleich stark angezogen, in vollkommen horizontaler Lage sich erhält. Dieser Gürtel heißt der **magnetische Äquator**.

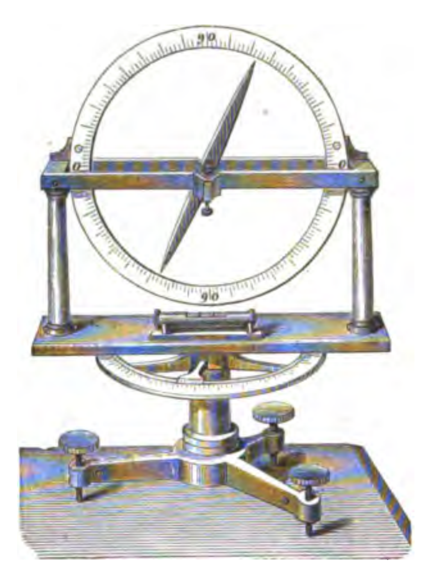


Fig. 455. Inklinatorium.

Außer der Deklination und der Inklination ist aber noch ein Faktor in Betracht zu ziehen, das ist die **Intensität** des Erdmagnetismus, die gesamte Stärke der Kraft, welche sich in den beiden genannten Erscheinungsweisen als in zwei Komponenten äußert. Die Intensität wird unter andern Methoden auf höchst scharfsinnige Weise auch durch die Schwingungsdauer großer Magnetstäbe gemessen; dieselben oszillieren um so schneller, je stärker die Intensität, um so langsamer, je schwächer diese ist.

Schwankungen des Erdmagnetismus. Keiner aber dieser drei Faktoren des Erdmagnetismus, weder die Deklination noch die Inklination, noch auch die Intensität, bleibt sich immer gleich. Im Gegenteil ändern sie sich fast fortwährend, denn sie sind von den Licht-, Wärme- und Elektrizitätsverhältnissen, wenn auch in noch unerkannter Weise, abhängig, und wie diese im physikalischen Zustande der Erde wechseln, so bedingen sie gleichzeitige Schwankungen der magnetischen Verhältnisse. Diese **Variationen** zu beobachten und durch Vergleichung in langen Zeiträumen das Gesetz der Abhängigkeit womöglich zu ergründen, ist der Zweck der großen Mühe, welche auf den zahlreichen magnetischen Stationen in Indien sowohl als in den Steppen der chinesischen Grenze und weit auf den Inseln der Südsee, in Grönland, am Kap der guten Hoffnung wie in den Laboratorien europäischer Universitäten unausgesetzt auf die Beobachtung der zitternden Magnetnadel gewandt wird. Der Weltreisende zählt das Magnetometer zu seinen wichtigsten Apparaten, und wie Humboldt auf den Kordilleren Südamerikas und in der leicht gezimmerten

Hütte in den sumpfigen Urwäldern des Amazonenstromes, so hat Kane hoch oben in den arktischen Regionen durch seine magnetischen Beobachtungen den Erdwissenschaften die wichtigsten Dienste geleistet.

Man hatte für einzelne Orte schon früher eine allmähliche Änderung der Deklination bemerkt, so betrug z. B. in Paris dieselbe im Jahre 1580 11° 30′ östlich, 1618 war sie nur noch 8°, 1663 fiel der astronomische Meridian mit dem magnetischen zusammen, 100 Jahre später wich die Magnetnadel um 8° 10′ nach Westen ab, 1780 um 17° 55′, 1805 um 22° 5′, 1814 um 22° 34′. Seit dieser Zeit aber geht die Nadel wieder zurück und 1852 betrug die westliche Abweichung nur noch 20° 22′. Solche langsame Änderungen heißen säkulare Variationen, sie erstrecken sich über die ganze Erde, und in diesem Sinne haben also auch die erdmagnetischen Kurven keine Beständigkeit und die Karten derselben müssen von Zeit zu Zeit geändert werden.

Die Richtung der Friedrichsstraße in Berlin ist genau nach der Magnetnadel zur Zeit ihrer Erbauung angelegt; die Bussole wird dadurch zu einem chronologischen Moment.

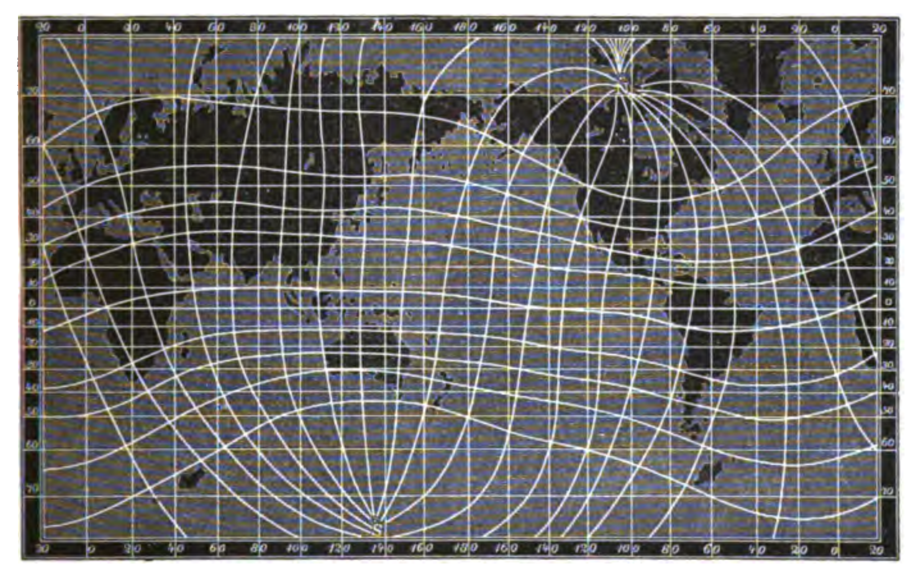


Fig. 456. Magnetische Kurven.

Die Magnetnadel geht aber bei ihren großartigen säkularen Schwingungen nicht einen stetigen Gang, sondern sie macht unter der Zeit wieder hin- und hergehende Zuckungen, welche unter sich auch eine gewisse Regelmäßigkeit, je nach der Jahres- und Tageszeit, erkennen lassen, tägliche Variationen. Für unsre Gegenden hat die Deklinationsnadel morgens um 8 Uhr ihre östlichste Ausweichung, dann geht das Nordende ziemlich rasch nach Westen, zwischen 1 und 2 Uhr kehrt sie wieder um und geht in den Tages- und Abendstunden rascher als in den Nachtstunden wieder ihrem früheren Stande zu.

Ebenso wie bei der Deklination hat sich auch bei der Inklination eine säkulare, jährliche und eine tägliche Variation feststellen lassen, so dürfen wir für beide Erscheinungen dieselben Ursachen voraussetzen. Aber während man in den klimatischen Änderungen eine Wechselbeziehung zu den kürzeren Perioden erkennen kann, ist man über die Ursachen der säkularen Schwankungen noch gänzlich im Unklaren.

Das Nordlicht. Diese Verhältnisse führen uns ohne weiteres einer Erscheinung zu, deren Erklärung früheren Zeiten unbesiegbare Schwierigkeiten darbot und die deshalb von Furcht und Aberglauben nur mit ängstlichen Gefühlen betrachtet wurde. Können wir uns aber auch heute noch nicht über den Zusammenhang aller jener Vorgänge, als deren Ergebnis das prachtvolle Nordlicht über den Horizont sich erhebt, erschöpfend Rechenschaft geben, so wissen wir doch bereits aus unbestreitbaren Erfahrungen mit Sicherheit, daß dasselbe mit dem erdmagnetischen Zustande im innigsten Zusammenhange steht und am passendsten als ein

magnetisches Ungewitter aufgefaßt werden muß, in welchem die gestörten Verhältnisse durch einen plötzlichen Ausgleich dem Gleichgewichtszustande wieder zustreben.

Bei uns erscheinen die Nordlichter ziemlich selten, in den nördlicher gelegenen Gegenden aber erglänzen sie fast allabendlich am Himmel. Auf einer im Jahre 1838 nach Norwegen ausgesandten Expedition beobachtete der Schiffsleutnant Lottin während eines Zeitraumes von 206 Tagen nicht weniger als 143 Nordlichter.

„Zwischen 4 und 8 Uhr des Abends färbte sich der obere Teil des lichten Nebels, welcher dort fast immer gegen Norden zu herrscht. Der lichte Streifen nahm allmählich die Gestalt eines Bogens an, dessen Enden sich auf den Horizont stützten. Sein Gipfel blieb in der Richtung des magnetischen Meridians. Bald erscheinen schwärzliche Streifen, welche den lichten Bogen trennen, und so bilden sich Strahlen, welche sich bald rasch, bald langsam verlängern oder verkürzen. Die Strahlen schießen über den Himmel herauf und verlängern sich bisweilen bis zu dem Punkte, welcher durch das Südende der Inklinationsnadel bezeichnet wird, so das Fragment eines ungeheuren Lichtgewölbes bildend. In dem Glanze des nach dem Zenith hin wachsenden Bogens zeigt sich eine wellenförmige Bewegung, der Glanz der Lichtstrahlen wächst der Reihe nach von einem Fuße zum andern, und es geht dies Wogen des Lichts bald von Westen nach Osten, bald in umgekehrter Richtung. Auch in seiner horizontalen Ausbreitung kommt der Bogen in Bewegung, er wallt und wogt, er entwickelt sich wie ein bewegtes Band oder eine wehende Fahne. Manchmal verläßt einer der Füße oder selbst beide den Horizont, dann werden diese Biegungen zahlreicher und deutlicher. Der Bogen erscheint nun als ein langes Strahlenband, welches sich entwickelt, in mehrere Teile trennt und graziöse Windungen bildet, welche sich fast schließen und das hervorbringen, was man wohl die Krone genannt hat. Alsdann ändert sich plötzlich die Lichtintensität der Strahlen, sie übertrifft die der Sterne erster Größe; die Strahlen schießen mit Schnelligkeit, bilden Biegungen und entrollen sich wie die Windungen einer Schlange; nun färben sich die Strahlen, die Basis ist rot, die Mitte grün, der übrige Teil behält ein blaßgelbes Licht. Diese Farben behalten immer ihre gegenseitige Lage und haben eine bewundernswürdige Durchsichtigkeit. Das Rot nähert sich einem hellen Blutrot, das Grün einem blassen Smaragdgrün. Da endlich nimmt der Glanz ab, die Farben verschwinden, die ganze Erscheinung erlischt entweder plötzlich oder sie wird nach und nach schwächer. Einzelne Stücke des Bogens aber treten wieder auf, er bildet sich von neuem, er setzt seine aufsteigende Bewegung fort und nähert sich dem Zenith. Die Strahlen erscheinen durch die Perspektive immer kürzer, alsdann erreicht der Gipfel des Bogens den magnetischen Zenith, einen Punkt, nach welchem die Südspitze der Inklinationsnadel hinweist. Unterdessen bilden sich neue Bogen am Horizonte; sie folgen einander, indem alle fast dieselben Phasen durchlaufen und in bestimmten Zwischenräumen voneinander bleiben. Manchmal werden diese Zwischenräume kleiner, mehrere dieser Bogen drängen einander, sie erinnern durch ihre Anordnung an die Kulissen unsrer Theater, die, auf die Seitenkulissen gestützt, den Himmel der Theaterszene bilden. So oft die Strahlen am hohen Himmel den magnetischen Zenith überschritten haben, scheinen sie von Süden her nach diesem Punkte zu konvergieren und bilden alsdann die eigentliche Krone. Die Erscheinung der Krone ist ohne Zweifel nur eine Wirkung der Perspektive, und ein Beobachter, welcher in diesem Augenblicke weiter nach Süden sich befindet, wird sicherlich nur einen Bogen sehen können.

„Denkt man sich nun ein lebhaftes Schießen von Strahlen, welche beständig sowohl in Beziehung auf ihre Länge als auf ihren Glanz sich ändern, daß sie die herrlichsten roten und grünen Farbentöne zeigen, daß eine wellenartige Bewegung stattfindet, daß Lichtströme einander folgen und endlich, daß das ganze Himmelsgewölbe eine ungeheure prächtige Lichtkuppel zu sein scheint, welche über einen mit Schnee bedeckten Boden ausgebreitet ist und einen blendenden Rahmen für das ruhige Meer bildet, welches dunkel ist wie ein Asphaltsee, so hat man eine unvollständige Vorstellung von diesem wunderbaren Schauspiele, auf dessen Beschreibung man verzichten muß.“ So schildert Lottin die zu Bossekop beobachteten Nordlichter. Was wir in unsern Gegenden von dieser Erscheinung gewahren, kann mit dem Glanze, welchen das Phänomen im Norden hat, nicht verglichen werden.

Die spektroskopische Untersuchung der Nordlichter hat ergeben, daß das Spektrum des Lichtbogens vorzugsweise aus einer einzigen hellen, gelbgrünen Linie, zwischen den

Fraunhoferschen Linien D und C gelegen, besteht. Dieselbe Linie hat Angström im Spektrum des Zodiakallichtes beobachtet, sie stimmt mit keiner der uns bekannten Gaslinien überein.

Die Grenzen, innerhalb derer ein und dasselbe Nordlicht sichtbar ist, sind oft sehr weit entlegen; daraus läßt sich auf die große Höhe, in welcher sich der Prozeß abspinnt, ein Schluß machen. So wurde z. B. das Nordlicht vom 28. August 1859 auf einer Strecke von 140 Längengraden, von Kalifornien bis Osteuropa und von Jamaika bis in die nördlichsten Gegenden von Britisch-Amerika beobachtet, und aus ähnlichen Wahrnehmungen hat Mairan auf Höhen von mehr als 100 geographischen Meilen geschlossen, in denen die Lichtentwickelung stattfindet.

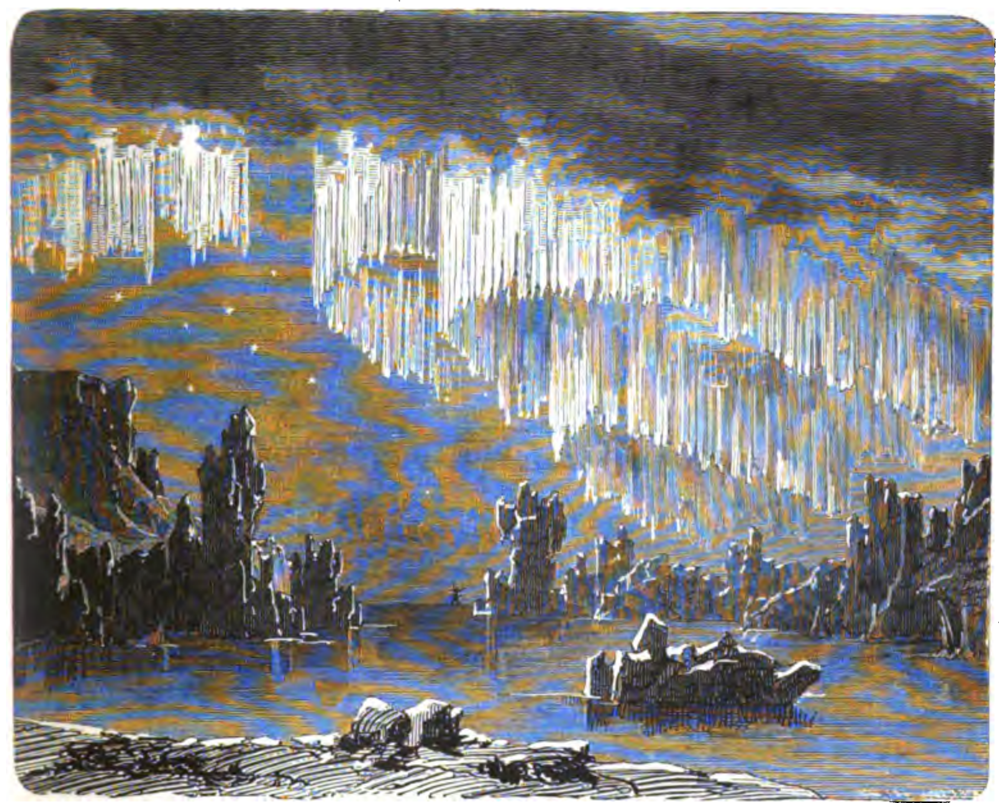


Fig. 457. Nordlichterscheinung in dem Eismeer.

In dem Auftreten der Polarlichter scheint eine gewisse Periodizität Geltung zu haben. Abgesehen davon, daß Loomis für Kanada die Stunden gegen 11 Uhr nachts, für höhere Breiten die Mitternacht und 1 Uhr morgens als tägliche Zeit ihrer häufigsten Erscheinung angibt, haben einzelne, namentlich Fritz, neuerdings nachzuweisen versucht, daß ein Maximum der Häufigkeit der Nordlichter immer nach Verlauf von elf Jahren wiederkehre. Fünf solcher elfjähriger Perioden sollen Abschnitte bezeichnen, welche durch noch bedeutendere Maxima hervortreten. Merkwürdig würde dabei sein, daß man auch für die besonders häufige Wiederkehr der Sonnenflecken eine elfjährige Periode und für die der Sternschnuppen (Alexander von Humboldt) eine dreiunddreißigjährige beobachtet zu haben glaubt.

Die Übereinstimmung der Strahlenrichtung mit dem magnetischen Meridian ließ schon zeitig auf die Vermutung kommen, daß das Nordlicht mit dem Erdmagnetismus in engem Zusammenhange stehe. Bestätigung erhielt dies durch den Umstand, daß die Magnetnadel während der Dauer einer solchen Erscheinung ihr Verhalten auf merkwürdige Weise ändert und in eine eigentümliche Unruhe gerät, die sich durch hin und her gehende Zuckungen zu erkennen gibt. Seit man nun auch noch beobachtet hat, daß über dem Himmel des Südpols dieselben wunderbaren Ausstrahlungen von Zeit zu Zeit stattfinden und diese

Südlichter oft gleichzeitig mit den Nordlichtern hervortreten und beide in unverkennbarer Abhängigkeit voneinander stehen; seit man die Einflüsse derselben auf die Magnetnadel mit den feinsten Apparaten oft und so genau beobachtet hat, daß Arago von seinem Zimmer aus zu Paris, viele Hundert Meilen vom Nordpol entfernt, aus den Bewegungen seiner Nadel das gleichzeitige Aufflammen eines Nordlichts über den nordischen Himmel verkünden konnte, seitdem ist es keinem Zweifel mehr unterworfen, daß diese vielbewunderte, vielgefürchtete Naturerscheinung in der That ist, was sie Humboldt nennt, ein magnetisches Ungewitter. Die störenden Einflüsse, welche das Nordlicht auf den elektrischen Strom in den Telegraphendrähten zuzeiten so mächtig ausübt, daß die Apparate von selbst anfangen zu arbeiten und Depeschen auf verständliche Weise nicht befördert werden können, sind ein Beleg dazu, da elektrische Ströme nur wieder durch elektrische Ströme in solcher Weise irritiert werden können. Wir können mit Hilfe luftverdünnter Räume, in denen wir unter dem Einflusse eines starken elektrischen Poles Elektrizität von einem Poldraht der Batterie zum andern überströmen lassen, das Nordlicht sogar künstlich im kleinen darstellen, und wenn wir uns die Erde von elektrischen Strömen in ostwestlicher Richtung umflossen denken, so sind uns darin Verhältnisse angegeben, welche die Erscheinungen des Nordlichts in faßbarem Zusammenhange darstellen. Indessen muß doch zugestanden werden, daß trotz der unbestreitbaren Thatsachen, welche das Unrichtige gewisser Erklärungen ganz evident darzulegen im stande sind, eine in allen Punkten erschöpfende Theorie der Polarlichter noch nicht hat gegeben werden können.

Aber so weit sind wir sicher, daß wir in dieser Erscheinung keine übernatürliche Mahnung zu erblicken haben, wie der Aberglaube fürchtet:

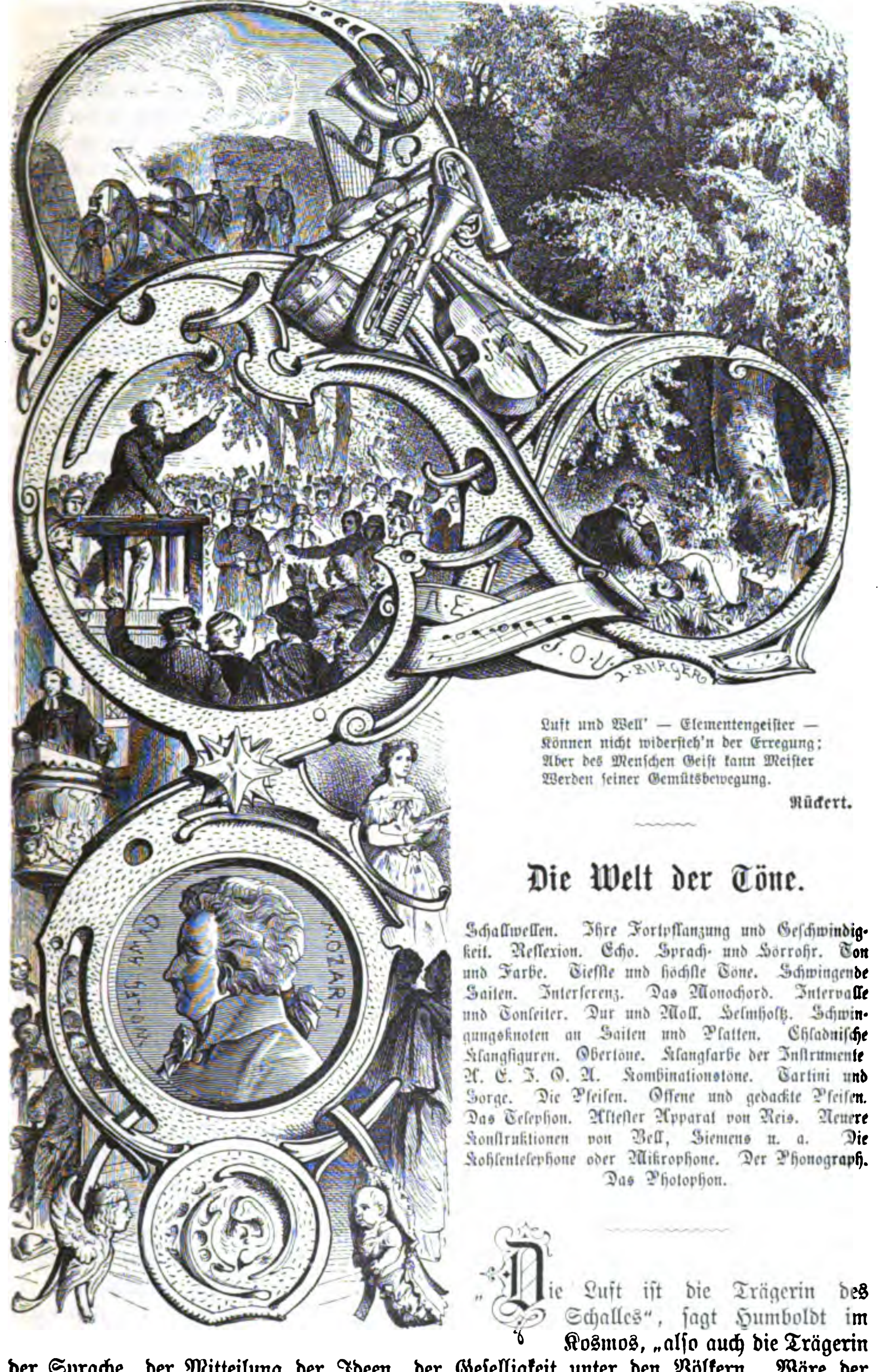
„Aus den Wolken blutig rot hängt der Herrgott seinen Kriegsmantel 'runter."

Diese abergläubische Prophezeiung vergangener Jahrhunderte hat für unsre Zeiten nichts Schreckliches mehr, und die prachtvollen Nordlichter, welche gerade zur Zeit der Übergabe von Metz (Ende Oktober 1870) mehrere Nächte nacheinander am Himmel aufflammten, haben gewiß kein erneutes Auflodern der Kriegsfackel bedeuten können. Eine lichtvolle Erkenntnis ist an die Stelle ängstlicher Deutung getreten. Das Begreifliche aber verliert die furchterregende Macht, durch welche das Wunderbare über die Schwachen herrscht.

Das magnetische Ungewitter ist wie das elektrische ein Versöhnungsakt, ein Vereinigen entgegengesetzter Kräfte, ein Ausgleich von Spannungen, ein Symbol des eintretenden Friedens; Blitz und Nordlicht sind „Liebesboten, die verkünden, was ewig schaffend uns umwallt."



Fig. 458. Kane, das Magnetometer beobachtend.



Luft und Well' — Elementengeister —
Können nicht widersteh'n der Erregung;
Aber des Menschen Geist kann Meister
Werden seiner Gemütsbewegung.

Rückert.

Die Welt der Töne.

Schallwellen. Ihre Fortpflanzung und Geschwindigkeit. Reflexion. Echo. Sprach- und Hörrohr. Ton und Farbe. Tiefste und höchste Töne. Schwingende Saiten. Interferenz. Das Monochord. Intervalle und Tonleiter. Dur und Moll. Helmholtz. Schwingungsknoten an Saiten und Platten. Chladnische Klangfiguren. Obertöne. Klangfarbe der Instrumente A. E. I. O. U. Kombinationstöne. Tartini und Sorge. Die Pfeifen. Offene und gedackte Pfeifen. Das Telephon. Ältester Apparat von Reis. Neuere Konstruktionen von Bell, Siemens u. a. Die Kohlentelephone oder Mikrophone. Der Phonograph. Das Photophon.

„Die Luft ist die Trägerin des Schalles“, sagt Humboldt im Kosmos, „also auch die Trägerin der Sprache, der Mitteilung der Ideen, der Geselligkeit unter den Völkern. Wäre der Erdball der Atmosphäre beraubt, wie unser Mond, so stellte er sich uns in der Einbildung als eine klanglose Einöde dar.“

Wie unser Auge Lichteindrücke auf die Weise empfindet, daß die Sehnerven durch die wellenartigen Erschütterungen des allverbreiteten Lichtäthers in entsprechende Erregung versetzt werden, so sind die Eindrücke, die wir durch unser Ohr erhalten, ebenfalls nichts andres als die Folge von Bewegungen, die sich durch den Gehörapparat des Ohres den Gehörnerven übertragen. Wir hören den Knall eines abgeschossenen Gewehres und können an der gleichzeitig erzitternden Fensterscheibe bemerken, in welche Erschütterung die Luft geraten war.

Alles, was wir hören, pflegen wir mit dem Namen Schall zu bezeichnen, und wir nennen die Schwingungen, Wellen, welche den Schall hervorbringen, deshalb auch Schallschwingungen. Sie werden hervorgebracht durch abwechselnde Verdichtungen und Verdünnungen der Luft. Wo die Luft mangelt, können wir auch keine Gehörempfindungen mehr haben. Auf hohen Bergen klingt unsre Stimme schwächer als in der Ebene, weil die Luft dort verdünnter ist. Saussure schoß auf dem Montblanc ein Pistol ab, und der Schall, welchen dasselbe bewirkte, erschien dem Beobachter nicht stärker, als ob zwei Holzstücke aufeinander geschlagen würden. Wenn wir unter den Rezipienten einer Luftpumpe das Schlagwerk einer Uhr bringen, so hören wir die Glocke so lange ganz hell, als wir noch angefangen haben. In demselben Maße aber, als die Luft durch das Auspumpen verdünnt wird, vermindert sich auch der Schall, und er wird endlich, obwohl wir den Hammer arbeiten sehen, ganz unhörbar, wenn die Glocke leer gepumpt ist (s. Fig. 460).

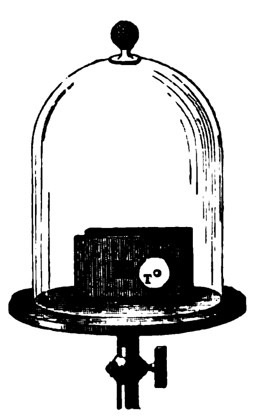


Fig. 460. Schlagwerk unter dem Rezipienten.

Die **Fortpflanzung** der Schallwellen geschieht gleichmäßig nach allen Seiten, so daß die Wellen mit ihrer Oberfläche immer eine um die Erregungsursache gedachte Kugel bilden. Nach jedem einzelnen Punkte gelangt daher der Schall in einer geraden Linie, man spricht in diesem Sinne von Schallstrahlen. Es hängt mit der Fortpflanzungsart des Schalles zusammen, daß seine Stärke mit der Entfernung immer schwächer werden muß, und zwar, wie aus einer einfachen mathematischen Betrachtung folgt, nimmt die Intensität ab mit dem Quadrate der Entfernung, so daß ein Pistolenschuß, wenn das Gewehr 1 m von unserm Ohr entfernt losgebrannt wird, hundertmal so stark auf unser Ohr wirkt, als wenn wir 10 m von dem Schützen entfernt stehen.

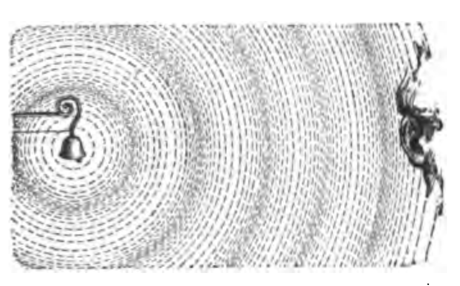


Fig. 461. Fortpflanzung der Schallwellen in der Luft.

In der Luft bewegt sich der Schall mit einer Geschwindigkeit von 342 m in der Sekunde weiter, wobei noch zu bemerken ist, daß diese Geschwindigkeit nach Versuchen, die Regnault in Paris angestellt hat, sich mit der Entfernung von der Schallwelle verringert. Wenn also ein Lichtstrahl von der Sonne bis zur Erde 8 Minuten 13 Sekunden braucht, so würde ein entsprechend lauter Zuruf erst in $16^2/_3$ Jahren auf dem entfernten Gestirne gehört werden. Übrigens dürfen wir aus dem Gesagten nicht ableiten, daß Schallwellen lediglich und allein von der Luft weitergeführt würden; es pflanzen sich die Erschütterungen auch durch feste Körper fort. Die Geschwindigkeit des Schalles ist in flüssigen und festen Körpern sogar eine größere als in luftförmigen. Sie beträgt z. B. für Zinn das Siebenfache; in Eisen, Stahl und Glas ist sie $10^2/_3$=, in Silber, Messing und Nußbaumholz eben so vielmal, in Kupfer 12=, in Ebenholz $14^2/_5$=, in Tannenholz selbst 18mal so groß wie in der Luft. Das Tannenholz ist also ganz vorzüglich geeignet, die Schwingungen des Schalles aufzunehmen, deswegen spielt es auch in der Herstellung musikalischer Instrumente eine so bedeutende Rolle. Vorzüglich werden daraus Saiteninstrumente und diejenigen Teile gemacht, die durch ihr eignes Mitschwingen wirken sollen, während Flöten, Klarinetten und andre Instrumente, deren Körper nicht selbst in Schwingung geraten sollen, aus dem trägeren Ebenholz, Buchsbaumholz, Elfenbein und dergleichen Material gefertigt werden.

Das Gebrüll des Vulkans Morne Garou auf St. Vincent hörte man bis am Maracaibosee — 150 deutsche Meilen. Der Schall war nicht durch die Luft, sondern durch den Erdboden fortgepflanzt worden, und es ist bekannt, daß die Wilden mit großer Sicherheit das Herannahen des Feindes, seine Richtung und Stärke zu erkennen vermögen, indem sie das Ohr auf den Boden legen.

Daß sich der Schall in Flüssigkeiten ebenfalls mit großer Leichtigkeit fortpflanzt, wird jeder schon beim Baden zu beobachten Gelegenheit gehabt haben. Fig. 462 stellt ein Arrangement dar, wie man die Fortpflanzungsgeschwindigkeit im Wasser messen kann. Die Glocke C wird auf der einen der beiden, in ihrer Entfernung genau gemessenen Stationen durch den Hammer M zum Tönen gebracht. Dies geschieht durch einen Hebel, der mittels eines über eine Rolle laufenden Fadens P mit einer beweglichen Lichtquelle derart verbunden ist, daß die letztere eine Ausweichung macht, wenn der Hammer zum Anschlagen gebracht wird. Der Beobachter auf der zweiten Station, der durch ein Hörrohr T die Schallwellen auffängt, sieht natürlich die Bewegung des Lichtes viel eher, als er den Schall hört. Aus der Verzögerung kann er aber dessen Geschwindigkeit leicht berechnen.

Reflexion des Schalles. Treffen Schallwellen auf entgegenstehende Hindernisse, so werden sie mannigfach irritiert. Leicht bewegliche, aber wenig elastische Körper geben die Erschütternng, welche sie aufnehmen, nicht oder nur unvollständig weiter; wollene Decken, Teppiche, Vorhänge ꝛc. dämpfen daher in Räumen, wo sie ausgebreitet sind, Gespräch und Musik. Sie lassen weder die Wellen vollständig durch sich hindurch, noch werfen sie dieselben kräftig zurück. Harte elastische Körper dagegen verhalten sich anders. Sie reflektieren die Schallstrahlen, und zwar nach denselben Gesetzen, wie Lichtstrahlen von ihnen zurückgeworfen werden würden. Nun sind aber die Schallwellen viel größer und nehmen zu ihrer Weiterbewegung ungleich mehr Zeit in Anspruch; die langsamste Lichtschwingung erfolgt in $1/_{450}$ Billiontel einer Sekunde, während der tiefste hörbare Ton aus einer Schwingungsdauer von $1/_{32}$ Sekunde besteht. Darum gehören zu einer vollständigen Zurückwerfung sehr ausgedehnte, wenig unterbrochene Flächen, obwohl dieselben durchaus nicht spiegelblank zu sein brauchen.

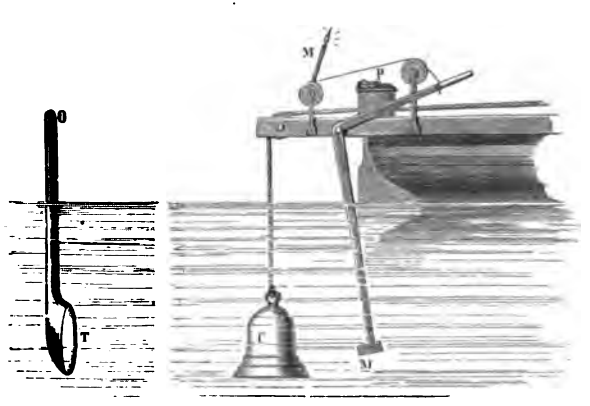


Fig. 462. Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit im Wasser.

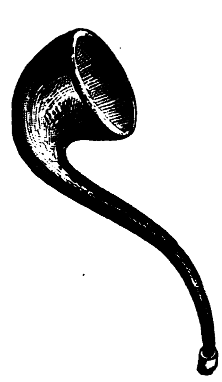
Steht die reflektierende Wand eine Strecke weit von uns und zugleich von der Schallquelle entfernt, so daß der Schall eine merklich größere Zeit gebraucht, um auf dem gebrochenen Wege in unser Ohr zu gelangen, so hören wir die zurückgeworfenen Schallwellen für sich und später als die direkten und nennen diese Erscheinung ein Echo. Wo die Umstände günstig sind, kann ein solches Echo nicht nur Worte, sondern ganze Sätze wiederholen, und namentlich sind die Gegenden der Quadersandsteinformation mit den regelmäßigen, steil abfallenden großen Wänden, wie in der Sächsischen Schweiz, Adersbach u. s. w., durch zahlreiche Echos ausgezeichnet — zum großen Ärger der Reisenden, denn die spekulative Ausnutzung der Natur hat darauf eine ganz eigentümliche Industrie gegründet, deren Handwerkszeug, Böller, Posaunen und gewöhnlich schon arg mitgenommene Jodlerkehlen nur mit den Schlüsseln und Zangen der Zahnärzte etwa einen Vergleich aushalten kann. Berühmt ist das Echo am Lurleifelsen und ganz vorzüglich auch das im Schlosse Simoneta bei Mailand; durch das Abprallen des Schalles an den verschiedenen Flügeln des Schlosses wird ein aus den Fenstern des Hauptgebäudes abgefeuerter Schuß gegen 50mal gehört.

Gekrümmte Flächen können die einzelnen Schallstrahlen ebenso sammeln wie Hohlspiegel, und bekanntlich macht man davon einen wichtigen Gebrauch bei der Anlage von

Konzertsälen, Theatern und ähnlichen Gebäuden. Bei Sälen für gesellschaftlichen Männergesang wird man z. B. als Grundriß und auch im Durchschnitt die Form der Ellipse anwenden.

In jeder Ellipse gibt es nämlich zwei Punkte von der Eigenschaft, daß alle Strahlen, die von dem einen derselben ausgehen, von den Seitenwänden so reflektiert werden, daß sie alle genau zu gleicher Zeit wieder in dem andern zusammenkommen; der Schall wird dadurch so zusammengehalten, daß in einem vollständig elliptisch gewölbten Raume an der betreffenden Stelle das leiseste Wort, das weit entfernt davon gesprochen wird, deutlich zu hören ist. Die verräterischen Treppen, Fenster, Säle, auf deren Anlegung frühere Baumeister in Schlössern oft große Mühe verwandten, sind deutliche Beweise davon, und das berühmte Ohr des Dionys, ein zu einem Gefängnis eingerichteter Steinbruch, worin, wie erzählt wird, die Staatsgefangenen nicht ungehört haben sprechen können, würde seine gefährliche Bedeutung derselben Eigentümlichkeit zu verdanken haben.

Sprachrohr und Hörrohr. Wo die Schallwellen immer so von den einschließenden Wandungen reflektiert werden, daß sie nur nach einer Richtung hin sich ausbreiten können, da wird ihre Kraft zusammengehalten und kommt dieser Richtung zu gute. Biot, der berühmte französische Physiker, hat mit Röhren, die in Paris behufs einer Wasserleitung gelegt wurden, Versuche gemacht. Er stellte sich in einer stillen Nacht an dem einen Ende einer 900 m langen Röhre auf und ließ an dem andern Ende verschiedene Instrumente spielen, ließ sprechen und Geräusche in allerhand Graden der Stärke hervorbringen; es war nicht zu bemerken, daß auf diese lange Strecke hin die Schallwellen irgend etwas von ihrer Intensität verloren hätten; der leiseste Ton wurde vernommen und das einzige Mittel, gar nichts zu vernehmen, war, wie er sich ausdrückt, nur vollkommene Stille auch auf der andern Seite herrschen zu lassen.


Fig. 463. Das Hörrohr.

Seit langer Zeit sind von diesen Thatsachen Anwendungen im Sprach- und Hörrohr gemacht worden. In einem alten, 1516 aus dem Arabischen übersetzten, zu Rom gedruckten und fälschlicherweise dem Aristoteles zugeschriebenen Buche wird erwähnt, daß Alexander der Große ein Horn gehabt habe, womit er sein Heer auf 100 Stadien zusammenrufen konnte; es darf aber dies wohl nur als ein Kriegshorn angesehen werden, wie das des fabelhaften Roland, womit er im Thal von Roncesvalles zum letztenmal schmetterte, nicht als ein eigentliches Sprachrohr, welches die Worte verständlich weiterträgt. Ein solches hat zuerst der Ritter Samuel Morland 1670 erfunden und damit in Gegenwart König Karls II. von England und des Prinzen Robert zu Deal Versuche angestellt, bei denen er sich eines aus Kupferblech in Gestalt eines abgestumpften Kegels gefertigten Rohres von $1,_{68}$ m Länge bediente. An dem einen Ende hatte dasselbe 5 cm, an dem andern 52 cm im Durchmesser, der Schall der Stimme war auf 3 engl. Meilen vernehmbar. Zwanzig Jahre früher schon hatte der bekannte Athanasius Kircher eine Vorrichtung angegeben, um Schwerhörigen das Verständnis gesprochener Worte zu ermöglichen; dieselbe bestand ebenfalls aus einem kegelförmigen Rohre, dessen spitzes Ende in das Ohr gesteckt wurde, in den erweiterten Schalltrichter sollte hineingesprochen werden. Kircher hat aber erst später darauf aufmerksam gemacht, daß dieses Hörrohr, wenn man es umdreht und in das spitze Ende hineinspricht, auch als Sprachrohr zu gebrauchen ist.

In unsrer Zeit hat das Instrument durch die verschiedenen Arten der Telegraphie selbst die geringe Bedeutung, welche es früher gehabt haben mag, vollends eingebüßt, und man trifft es selten, nur noch auf Schiffen, hohen Bergen oder bei Türmern, um Bestellungen und Ankündigungen nach untenhin zu machen, wenn man nicht die Schallröhren, durch welche man aus verschiedenen Räumen von Gebäuden miteinander verkehren kann, zu den Sprachrohren mit rechnen will.

Das Hörrohr dagegen hat einen dauernden Wert: es ist gewissermaßen für die Ohren das, was das Brennglas für schwache Augen ist. Seiner Einrichtung nach bildet es eine etwas konische Röhre mit erweiterter Schallöffnung, ähnlich einem Horn, und erfüllt zwar seinen Zweck, eine größere Menge von Schallwellen aufzunehmen und dieselben förmlich

konzentriert in das Ohr zu führen, genügt aber nur solchen, die erst in geringerem Grade dem Übel verfallen sind und stärkere Eindrücke noch aufzunehmen vermögen. Vortreffliche Hilfsmittel dazu sind die Guttaperchaöhren, deren Biegsamkeit eine leichte Handhabung gestattet, und durch Vereinigung mehrerer Schallbecher mit einem Hauptrohr ist es möglich geworden, den Schwerhörigen selbst an der Unterhaltung eines ganzen Tisches mit teilnehmen zu lassen.

Der Ton. Wir haben die Schallstrahlen schon mit den Lichtstrahlen verglichen; der Vergleich bezieht sich nicht bloß auf die Art und Weise der Fortpflanzung und Zurückwerfung; wir können die Analogie noch weiter verfolgen und werden dann, wie wir die verschiedenen Bestandteile des Sonnenlichtes als Lichtwellen von verschiedener Dauer und Brechbarkeit erkannt haben, auch in dem, was wir in dem Gesamtbegriff des Schalles zusammenfassen, ähnliche Unterscheidungen zu treffen haben.

Ein Kanonenschuß, ein rasselnder Wagen, eine schreiende Herde, das Rollen des Donners verursachen uns Empfindungen, die wir mit allgemeinen Lichteindrücken, mit dem Aufblitzen einer Rakete, dem durch Spiegelung in unser Auge geworfenen Sonnenlicht und Ähnlichem vergleichen können.

Wie das weiße Licht aber elementare Wellenbestandteile enthält, die je für sich bestimmte Farbenempfindungen erregen, so sind jene Geräusche auch nicht einfache Wellenbewegungen, sie zeigen sich vielmehr als ein Gemenge zahlreicher, nebeneinander bestehender und für sich regelmäßiger Schwingungen, deren jede wie ein schwingendes Pendel ihren Verlauf hat und sich von den andern durch die Größe der Ausweichung und Geschwindigkeit unterscheidet. Solche regelmäßige Schwingungen bringen den Ton hervor, der sich von dem bloßen Schall und Geräusch wie die Farbe vom weißen Licht unterscheidet. Wir unterscheiden an ihm Höhe und Tiefe und sehen als die Ursache dieser Qualität auch die Geschwindigkeit, mit welcher die einzelnen Wellen einander folgen. Der Ton sättigt uns mit einer bestimmten Empfindung, während das bloße Geräusch nichts Derartiges bewirkt, und wir bemerken auch hier wie überall in der Natur, daß alles nur durch Ordnung, durch die schöne Regel zur Vollendung kommt, wie das Willkürliche der Schönheit entbehrt, wie Harmonie und Gesetzmäßigkeit gleichbedeutend sind.

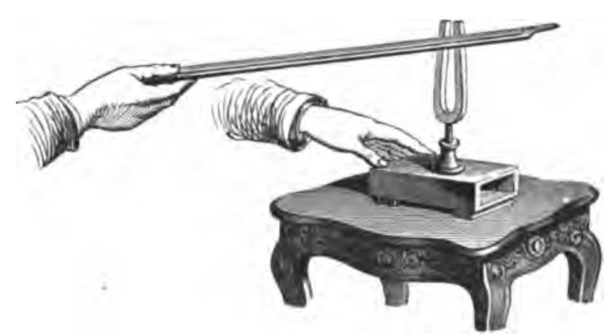


Fig. 464. Ertönen der Stimmgabel.

Zur Untersuchung über die Natur des Tones eignet sich nichts so vortrefflich als die sogenannte Sirene, das ist ein gezahntes Rad, gegen dessen Zahnkranz man mit einer engen Röhre bläst. Wenn sich das Rad dreht, so schneidet jeder Zahn den durchgehenden Luftstrom und hält ihn einen Moment auf, wie das Rad bei dem Fizeauschen Apparat (s. Fig. 204). Solange der Zahn vor der Röhrenöffnung sich befindet, wird die Luft in der letzteren verdichtet, und durch dieses wechselnde Spiel werden also Wellen erzeugt, die um so rascher sich folgen, je größer die Umdrehungsgeschwindigkeit des Rades ist. Man kann die Zahl der Wellen in der Sekunde bestimmen und hat gefunden, daß der tiefste Ton 32 Schwingungen in dieser Zeit macht; in der Musik bezeichnet man ihn als das tiefe C. Langsamere Schwingungen werden nur als vereinzelte Luftstöße empfunden. Der höchste Ton, den wir zu hören vermögen, entsteht durch 24000 Schwingungen in der Sekunde. Darüber hinaus hat unser Ohr nicht mehr die Fähigkeit, Töne aufzufassen. Es scheint aber, daß die Gehörorgane mancher Tiere eine bei weitem höhere Empfindlichkeit besitzen. Übrigens wissen wir, daß zur Erzeugung eines musikalischen Tones jeder elastische Körper geeignet ist, der durch rasche, regelmäßige Schwingungen die Luft durch Verdünnung und Verdichtung in entsprechende Wellenbewegung zu setzen vermag. Schlägt man eine Stimmgabel oder Glasglocke an oder streicht man dieselben mit dem Violinbogen (s. Fig. 464), so tönen sie.

Durch den Schlag sind sie in Schwingungen versetzt worden, welche infolge der Elastizität des Stahles oder des Glases gleichmäßig und anhaltend fortdauern und die man leicht fühlen kann, wenn man den Stiel der Stimmgabel an die Zähne hält oder den Rand der Glocke mit der Fingerspitze berührt; ja die pendelartigen Schwingungen der Stimmgabel kann man von ihr selbst verzeichnen lassen, wenn man an den einen Schenkel einen Stift befestigt und denselben auf einem vorbeibewegten Blatt Papier seine Züge machen läßt. Seitdem man sich in der Neuzeit mit der Untersuchung der Tonschwingungen eingehender beschäftigt hat, ist auch eine Anzahl Apparate erfunden worden, welche die akustischen Phänomene in gewisser Weise auch sichtbar machen. Indem man z. B. an das Ende des Schenkels einer Stimmgabel einen blankpolierten runden Knopf anbringt, welcher das Licht einer Kerzenflamme als einen hellen Punkt zurückstrahlt, wird man eine glänzende Lichtlinie erblicken, wenn die Stimmgabel in Schwingungen versetzt worden ist. Und zwar wird diese Lichtlinie eine gerade sein unter gewöhnlichen Umständen; nicht aber, wenn man eine zweite Stimmgabel nicht in derselben Richtung wie die vorige schwingen läßt, sondern etwa senkrecht gegen jene, indem sie horizontal gehalten wird, während die Schenkel der andern vertikal stehen, und an der neuen Stimmgabel ein kleines Planspiegelchen anbringt, in welcher man die Lichtlinie des schwingenden Knopfes betrachtet. Diese vorher gerade Linie wird durch die Schwingungen des zweiten Spiegels, die in einer andern Richtung erfolgen, alteriert, und je nach dem Schwingungsverhältnis der Stimmgabeln nimmt sie eine eigentümliche Kurvengestalt an, welche für die mathematische Untersuchung wichtige Hilfsmittel bietet.

Der Anlaß zu Schwingungen kann ein ein einmaliger (Stoß oder Schlag) sein, wie bei der Geige und den Blasinstrumenten. Eine gespannte Saite wird durch den harzigen Bogen aus ihrer Ruhelage gezogen; sie will wieder dahin zurückgehen, da erfaßt sie aufs neue der Bogen, nimmt sie mit fort, bis sie wieder zurückschnellt, und so macht sie ihre Bewegungen Hunderte und Tausende von Malen in der Sekunde, und jeder Hin- und Rückgang erregt eine neu sich fortpflanzende Luftwelle, die alle zusammen den Ton hervorbringen. Bei den Blasinstrumenten sind es die elastischen Lippen oder schwingenden Zungen, Federn und Blättchen, die durch die komprimierte Luft beim Blasen in Bewegung gesetzt werden, in gewissen Fällen auch eigentümliche Zerreißungen des Luftstromes, die wir später zu betrachten Gelegenheit haben werden.

So abweichend die auf diese verschiedenen Entstehungsursachen des Tones gegründeten musikalischen Instrumente auch unter sich sind, so liegen doch allen gewisse gemeinsame physikalische Prinzipien zu Grunde. Vor allen Dingen sind dies die Schwingungsverhältnisse, über die uns in der Kürze das einfachste aller Saiteninstrumente, das Monochord, unterrichten kann.

Das Monochord hat, wie sein Name besagt, eine einzige Saite; dieselbe ist zur Verstärkung des Tones auf einem hohlen hölzernen Kasten, einem sogenannten Resonanzboden, befestigt. Sie liegt in der Mitte frei über zwei Stegen und kann durch Unterschieben eines kleinen beweglichen Holzsteges beliebig verkürzt werden; die Unterlage hat eine Einteilung. In Fig. 465 ist ein solcher Apparat mit zwei Saiten bespannt, wie er behufs der Untersuchung der Schwingungsgesetze passend verwendet werden kann, dargestellt. Wenn die Saite mit dem Bogen gestrichen oder mit dem Finger gerissen wird, so gerät sie in Ausweichungen nach der Seite, sie macht sogenannte Transversalschwingungen. Der Punkt der größten Ausweichung liegt in der Mitte zwischen den beiden ruhenden Endpunkten (s. Fig. 466); sind die beiden Saiten gleichlang, gleichstark, von gleicher Elastizität und gleichstark gespannt, so werden sie auch in derselben Zeit gleichviel Schwingungen machen. Aber sowohl die Weite der Schwingungen als auch die Geschwindigkeit derselben sind verschieden, je nachdem Masse, spezifisches Gewicht, Querschnitt oder Spannung bei einer oder der andern Saite verschieden ist. Über diese gegenseitige Abhängigkeit bestehen einfache Gesetze. Die Spannung mißt man am bequemsten, indem man das eine Ende der Saite über eine bewegliche Rolle laufen läßt und mit Gewichten beschwert; dabei findet man, daß die Schwingungszahl einer Saite der Quadratwurzel aus den spannenden Gewichten proportional ist. Wenn eine Saite bei einer Belastung von 1 kg in der Sekunde 64 Schwingungen macht, so macht sie bei 2 kg Spannung 128 Schwingungen. Es folgt daraus, daß eine hochtönende Saite auf ihre Unterlage einen sehr beträchtlichen Druck ausüben müßte, wenn

man sie sonst von derselben Beschaffenheit nehmen wollte, wie die für die tiefen Töne. Um eine gewisse Gleichheit der Zugkräfte aber innezuhalten, ist man daher gezwungen, die andern Faktoren, welche auf die Höhe des Tones Einfluß haben, zu ändern: Länge, Dicke, Substanz. Das Gewicht der Saite ist insofern von Einfluß, als die elastische Kraft ja allein die ganze Masse zu bewegen hat; sie wird mit letzterer um so eher fertig werden und um so raschere Schwingungen bewirken, je leichter diese ist und einen je geringeren Durchmesser sie hat, und umgekehrt. Die Schwingungszahlen von Saiten aus gleichem Stoff verhalten sich bei gleicher Länge und gleicher Spannung umgekehrt wie ihre Durchmesser; sind die Saiten aber von verschiedenem Stoff, so verhalten sich die Schwingungszahlen bei sonst gleichen Verhältnissen umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus ihren spezifischen Gewichten. Deswegen haben die tiefsten Saiten der Guitarren, Violoncellis u. s. w. eine Umspinnung von Metalldraht, welche ihr Gewicht vergrößert und die Schwingungen verlangsamt.

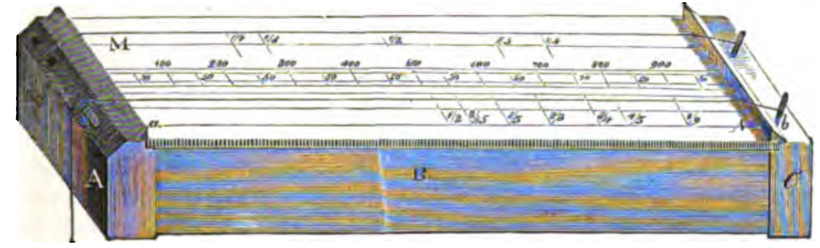


Fig. 465. Das Monochord.

Diese Verhältnisse kommen zwar bei der Behandlung von musikalischen Instrumenten weniger in Betracht als bei deren Bau. Man nimmt aber, um, wie es bei den Geigen, Guitarren, Zithern und ähnlichen Instrumenten der Fall ist, aus einer in gewissen Spannungsverhältnissen befindlichen Saite verschiedene Töne hervorzurufen, zu einem auch hierher gehörigen Mittel seine Zuflucht, zu der Verkürzung des schwingenden Teiles.

Eine Saite vibriert um so rascher, je kürzer sie gemacht wird. Wenn z. B. die Saite a b (s. Fig. 465), mit ihrer ganzen Länge schwingend, 40 Schwingungen macht, so wird sie deren 80 in derselben Zeit machen, wenn man durch Unterschieben des beweglichen Steges in der Mitte den schwingenden Teil um die Hälfte verkürzt; viermal soviel, wenn man diese Hälfte noch einmal halbiert u. s. f. Aus dem Umstande, daß die Schwingungszahl einer Saite in umgekehrtem Verhältnis zu ihrer Länge steht, ergibt sich, daß beim Violinspiel durch das Aufsetzen der Finger auf die Saite eine ganze Reihe von Tönen mit allen nur denkbaren Mittelstufen hervorgebracht werden kann, denn thatsächlich tritt durch Aufsetzen des Fingers näher dem Stege hin Verkürzung, durch Zurückgehen nach der Schnecke wieder Verlängerung der schwingenden Saite ein. Die leere Saite gibt den tiefsten, den Grundton.

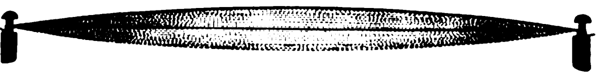


Fig. 466. Schwingende Saite.

Wie jede Farbe für sich zwar gut ist, einen mehr oder weniger angenehmen Eindruck auf unser Auge aber erst durch Zusammenstellung mit andern macht, so ist auch der Ton für sich allein nicht Gegenstand einer künstlerischen Verwendung, es erwächst vielmehr erst aus der Vereinigung mehrerer Töne eine Sprache derselben. Dieses Aufeinanderbeziehen der Töne, sei es ein Zusammenfassen gleichzeitig erklingender, sei es die wechselnde Empfindung, in welche wir durch nacheinander eintretende Verschiedenheiten versetzt werden, sucht seine endliche Begründung in einfachen mathematischen Verhältnissen, in welchen die Schwingungszahlen zu einander stehen.

Musikalische Intervalle und die Tonleitern. Wenn wir einen Stein in einen ruhig stehenden Teich werfen, so sehen wir, wie die Wellen dem Ufer in kreisförmigen Ringen zueilen. Denken wir uns nach dem ersten Steine gleich noch einen zweiten genau auf dieselbe Stelle geschleudert, der aber Wellenringe von doppelter Geschwindigkeit erregen soll, so wird in dem regelmäßigen Verlauf der ersten größeren Wellen keine

besondere Störung eintreten. Anfang und Ende derselben wird auch durch einen Anfang und ein Ende der doppelt kleineren markiert sein, und es werden sich dadurch nur die Punkte der größten Ausweichung — Wellenberg und Wellenthal — mit größerer Entschiedenheit bemerklich machen, weil an dieser Stelle die in demselben Sinne stattfindenden Wirkungen sich summieren. Wenn aber der zweite Stein in derselben Zeit, in welcher der erste zwei Wellen bewirkte, deren drei erregt, so werden die Punkte der Übereinstimmung allemal erst nach zwei größeren Wellen wieder eintreten, innerhalb dieser Zwischenräume aber die beiden Wellenzüge sich auch beträchtlicher stören als vorher u. s. w. Je komplizierter das Verhältnis der beiden Wellenzüge zu einander wird, um so verwirrter erscheint die Oberfläche des Wassers und um so unentschiedener auch der Anschlag an das Ufer.

Unser Ohr ist nun gewissermaßen das Ufer, an welches die Ringe der Tonwellen schlagen, und dieselben gegenseitigen Beeinflussungen, die zwei Wasserwellen aufeinander ausüben, finden auch in dem Verlaufe der Luftwellen statt und werden von den Gehörnerven empfunden.

Der Gesamtcharakter einer Tonverbindung ist um so befriedigender, je ruhiger der Verlauf der entsprechenden Wellenzüge ist; und aus dem Gesagten ergibt sich, daß das Verhältnis zweier Töne von dem Schwingungsverhältnis 1:2 das verständlichste, weil einfachste, sein wird. Dies Verhältnis bezeichnet man in der Musiksprache mit dem Namen der Oktave. Der Abstand zweier Töne voneinander bezüglich ihrer Schwingungszahlen heißt überhaupt ihr Intervall. Die Oktave ist ein so einfaches Verhältnis, daß man sogar die beiden Töne der Qualität nach als gleich ansieht und alle möglichen Intervalle auf das Intervall 1:2 bezieht. Man findet es auf dem Monochord, wenn man den beweglichen Steg so setzt, daß rechts $^2/_3$, links $^1/_3$ der Saite stehen bleibt; der längere Teil gibt den tieferen Ton, der kürzere die höhere Oktave. Setzt man den Steg so, daß rechts $^3/_5$, links $^2/_5$ der Saite liegen, so verhalten sich die Schwinguugszahlen wie 2:3, und wir erhalten das nächsteinfache Intervall, die Quinte. Bekanntlich gibt 4:4 die Quarte, 4:5 die große Terz, 5:6 die kleine Terz u. s. w.

Die musikalischen Bedürfnisse der Völker haben im Laufe der Zeiten immer kompliziertere Verhältnisse für ihre sich mehr und mehr verfeinernden Zwecke verwenden gelernt, so daß bis zu uns allmählich eine siebenstufige Tonleiter zwischen zwei Oktaven herausgebildet worden ist, deren Intervalle sich für einen Grundton von 24 Schwingungen in folgenden Verhältnissen bewegen:

1	2	3	4	5	6	7	8
24	27	30	32	36	40	45	48
1	$^9/_8$	$^5/_4$	$^4/_3$	$^3/_2$	$^5/_3$	$^{15}/_8$	2

Die darunter stehenden Bruchzahlen geben die Verhältnisse der Schwingungszahlen zum Grundtone an. Dieser Tonleiter liegen die einfachen Intervalle, Grundton, Quinte, Quarte, große Terz, Sexte und Oktave zu Grunde. Die Quinte und die große Terz klingen bei den meisten Tönen als die ersten verschiedenen Intervalle in den harmonischen Obertönen C c g c′ e sehr vernehmlich mit, sie bilden in selbständiger Vereinigung mit dem Grundton den einfachsten harmonischen Effekt, den Durdreiklang. Die noch übrig bleibenden, für ein angenehmes Tonfortschreiten immer noch zu großen Intervalle zwischen Grundton und großer Terz, Sexte und Oktave wurden ausgefüllt, indem man über der Quinte, als dem dem Grundtone verwandtesten Tone, einen neuen Dreiklang (Grundton, Terz und Quinte) aufbaute und die Quinte desselben eine Oktave herunterlegte.

Neben der großen Terz 4:5 zeichnet sich aber durch besondere Einfachheit des Schwingungsverhältnisses 5:6 die kleine Terz aus, und sie ist deshalb ihrerseits auch zum Ausgang einer Tonleiter, der Molltonleiter, geworden.

In der Durtonleiter ist der Schritt von der Terz zur Quarte und von der Septime zur Oktave kleiner als die übrigen, diese Intervalle heißen halbe Töne, weil man zwischen den übrigen ganzen Tönen je ein ähnliches Intervall noch einschalten kann. Das Fortschreiten innerhalb einer Oktave von halben Tönen ist die chromatische Tonleiter. Wir können leider auf die genauere Besprechung dieses Gebietes, welches sich von unserm eigentlichen Wege doch abseits erstreckt, nicht eingehen. Nur das wollen wir noch bemerken,

daß unser Tonsystem in seiner jetzigen Verfassung, mit seiner Dur- und Molltonleiter, so mathematisch strikt auch die Sache sich darstellen läßt, doch nicht das natürlich einzige mögliche ist. Eigentümliche Bildungsweise und Geschmacksrichtung haben dasselbe geschaffen, und wenn uns die Musik andrer, in abweichenden Anschauungen aufgewachsener Völker nicht gefällt, so haben wir damit noch kein Recht, dieselbe absolut als unschön zu bezeichnen. Wie wir unsern Geschmack an gewisse Aufeinanderfolgen allmählich gewöhnt haben, so müssen wir andern das Recht lassen, davon verschiedene, aber ebenso natürliche Verhältnisse zu bevorzugen.

Die früher häufig falsch und unklar aufgefaßten Verhältnisse der musikalischen Entwickelung haben erst in neuerer Zeit eine klassische Darstellung durch Helmholtz in dessen Lehre von den Tonempfindungen erfahren, und nicht nur die theorisierende Musik kann Begründung und Methode dieser Epoche machenden Arbeit entnehmen, auch den praktischen Disziplinen des Instrumentenbaues und der Behandlung der musikalischen Instrumente können die Ergebnisse in ausgezeichnetster Weise zu gute kommen.

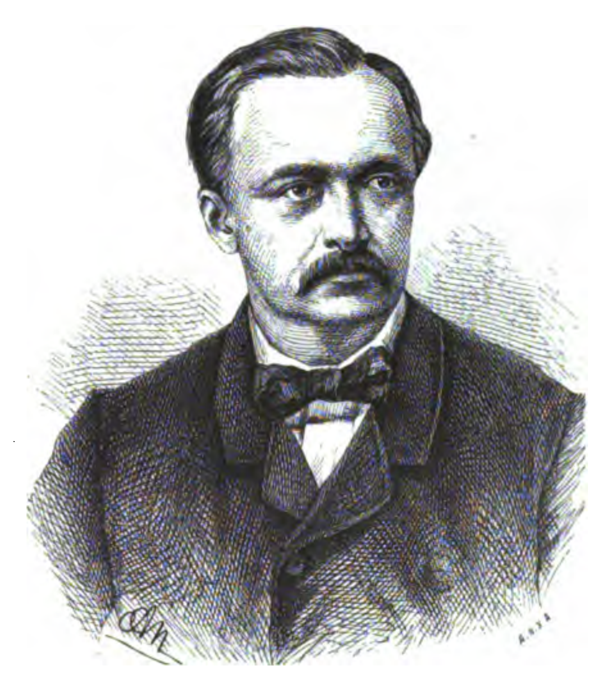


Fig. 467. Hermann Ludwig Friedrich v. Helmholtz.

Schwingungsknoten. Die sogenannten Flageolettöne der Saiteninstrumente geben uns Gelegenheit zu weiteren interessanten Beobachtungen. Sie sind bekanntlich viel höher als diejenigen, welche der in ihrer ganzen freien Länge schwingenden Saite zukommen würden, und entstehen, wenn man die Saite an einem Punkte, der einen ohne Rest in der ganzen Saitenlänge aufgehenden Abschnitt bezeichnet, also z. B. $1/4$, $1/3$ oder dergleichen, leise mit dem Finger berührt und sie durch Anstreichen mit dem Bogen zum Tönen bringt. Wenn die Berührung leise genug ist, so daß dadurch zwar der betreffende Punkt in Ruhe gehalten wird, die Schwingungen sich aber der übrigen Saite noch mitteilen können, so vibriert diese allerdings durch ihre ganze Länge, aber nicht als Ganzes, sondern in lauter einzelnen Abschnitten, gewissermaßen in selbständigen Saitenstücken, welche unter sich gleich und durch die Entfernung des festgehaltenen Punktes von dem nächsten Ende bestimmt sind. Diese Teilpunkte bleiben in Ruhe und werden Schwingungsknoten genannt. Während in Fig. 468 nur noch ein solcher Schwingungsknoten K^3 sich bildet, entstehen bei der Berührung des ersten Viertels deren zwei, K^2 und K^3 (s. Fig. 469); hängt man an diesen Punkten kleine Papierreiterchen auf, so bleiben diese ruhig hängen, während sie in den dazwischen liegenden vibrierenden Saitenteilen S^1 S^2 S^3 abgeworfen werden.

In der Musik macht man, wie schon erwähnt, von dieser Selbstteilung der Saiten vielfache Anwendung. Es bringt die leichte Berührung einer Saite an der Stelle, wo man den Finger niederdrücken müßte, um die Quinte zu erhalten, die hohe Oktave, die leichte Berührung der Quarte die hohe Duodezime, die der großen Terz die höhere Doppeloktave hervor ꝛc.

Schwingungsknoten entstehen nicht nur bei schwingenden Saiten, sondern auch bei schwingenden Luftsäulen und schwingenden Platten; wir werden bei der Besprechung der verschiedenen musikalischen Instrumente auf die zu zweit genannten zurückkommen. Die letztangeführten sind die Veranlassung der Chladnischen Klangfiguren, von deren Hervorbringungsart und verschiedenem Charakter uns die Figuren 470—474 eine Anschauung geben.

Die Platte, gleichviel von welcher, wenn nur regelmäßigen Form, wird in einem Punkte festgespannt, mit feinem Sande bestreut und durch Anstreichen mittels eines Geigenbogens in Vibration versetzt. Auf allen schwingenden Punkten geraten die Sandkörnchen in eine lebhaft hüpfende Bewegung, infolge deren sie sich bald in regelmäßige Figuren auf denjenigen Teilen anordnen, die von der schwingenden Bewegung nicht ergriffen sind. Man kann die Figuren veranlassen, sich anders zu gestalten, wenn man durch Berühren andrer Stellen mit dem Finger diese zwingt, in Ruhe zu bleiben.

Obertöne. Diese Bemerkungen sind ganz besonders wichtig, denn was wir hier absichtlich und in besonders auffälliger Weise hervorrufen, das tritt fortwährend in der Natur von selbst auf, so daß wir behaupten können: ein einfacher, unvermischter Ton ist die seltenste aller natürlichen Erscheinungen. — Auf dem Grade und der Art der Vermischung mit andern Tönen aber beruhen die wundervollsten Effekte. Wollte z. B. ein Geigenspieler auf seiner Saite das eingestrichene c oder irgend eine andre Note zu Gehör bringen, so wird er dies mit aller Kraft nicht vermögen. So scharf und sicher er auch greifen, so regelrecht er auch den Bogen handhaben mag, immer klingen andre Töne mehr oder weniger stark mit, indem sich die Saite von selbst in ähnlicher Weise teilt wie bei den Flageoletttönen oder indem die übrigen Bestandteile des Instruments mit in Schwingungen geraten, hauptsächlich auch dadurch, daß infolge der ungleichen Erregung der Saite über die ganze Länge derselben kleine Laufwellen gehen, wie wenn wir auf das Ende eines gespannten Seiles einen kurzen, lebhaften Schlag führen, neben den Querschwingungen also Längenschwingungen entstehen. Alle diese verschiedenen Ursachen bewirken einzelne Töne, welche sich zu jenem Gesamtklange zusammensetzen, den wir in der Musik schlechthin als Vertreter der fraglichen Note ansehen und deswegen als einen einfachen Ton behandeln.

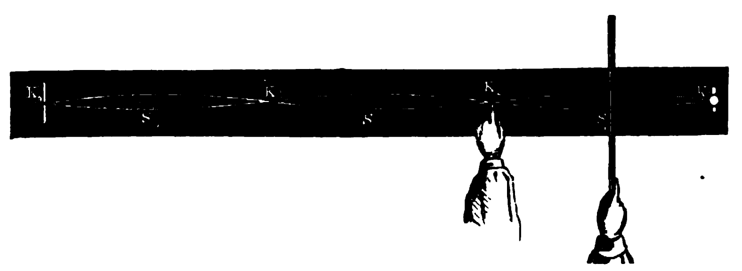


Fig. 468. Entstehung der Schwingungsknoten bei gespannten Saiten.

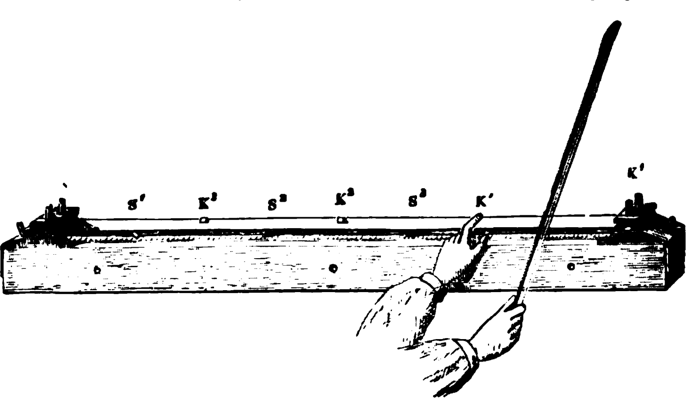


Fig. 469. Entstehung der Schwingungsknoten bei gespannten Saiten.

Stehen die mitklingenden Töne zu einander in regellosen Verhältnissen, so bekommt der Klang den Charakter eines Geräusches. Klirren, Sausen, Brausen u. s. w. bestehen zwar aus einzelnen regelmäßig verlaufenden Tönen, die aber ihrer irrationalen Schwingungszahlen wegen sich nicht zu einem einheitlichen Gesamteffekt vereinigen können.

Die Nebentöne oder Obertöne — wie sie ihrer höheren Schwingungszahlen wegen genannt werden — eines regelmäßig in Schwingungen versetzten elastischen Körpers stehen zu dem Grundtone in einem gesetzmäßigen Zusammenhange, und ihre Intervalle sind immer ganz bestimmte, aber von der Natur des schwingenden Körpers, den Spannungsverhältnissen oder der bewegenden Kraft zum Teil mit bedingt. — Für gespannte Saiten, offene Pfeifen u. s. w. sind die Schwingungsverhältnisse der Obertöne durch folgende Zahlen ausgedrückt:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
c	e	g	c	e	g	b—	c	d	e	f	g	a—	ais—	h	c

Je nachdem einzelne solcher Obertöne besonders stark hervortreten, andre dagegen sich schwächen oder gar verschwinden, ändert sich die Natur des Klanges, und es beruht die Klangfarbe der verschiedenen Instrumente zu allermeist in dem verschiedenen Auftreten dieser höheren Partialtöne in den auf den Instrumenten erzeugten Klängen. Ja, wunderbar ist es, daß die Bildung der Vokale, der eigentümliche Charakterunterschied, welchen z. B. a vor o, u, e, i und diese wieder untereinander haben, an das Zusammenklingen gewisser Obertöne geknüpft ist. Wenn ein Sänger auf eine bestimmte Note den Vokal a singt, so läßt er durch die besondere Anordnung der Mundhöhle ganz andre Töne neben jenem Haupttone mit ansprechen, als wenn er auf dieselbe Note den Vokal o oder einen der übrigen Vokale intoniert, und dieselben Obertöne machen auch beim gewöhnlichen Sprechen den Klang eben zu einem a oder je nachdem zu einem o, u, e oder i. Helmholtz hat durch seine Untersuchungen nicht nur diese Thatsachen nachgewiesen, sondern er hat auch zur Probe darauf durch Zusammenmischen der entsprechenden Tonbestandteile die Vokale künstlich hervorgebracht. Ja, die Natur macht dies oft von selbst, wie der Klang der großen Glocken beweist, der in jeder Sprache durch Silben und Worte ausgedrückt wird, in denen der Vokal u eine Hauptrolle spielt — bum, baum — während kleinere Glöckchen durch das hellere i in bim, bim und dergleichen gewissermaßen redend dargestellt werden.

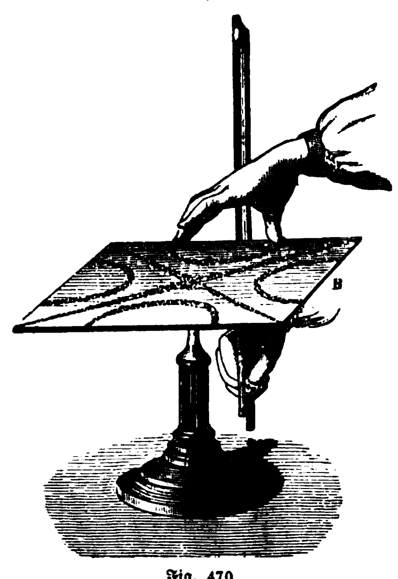
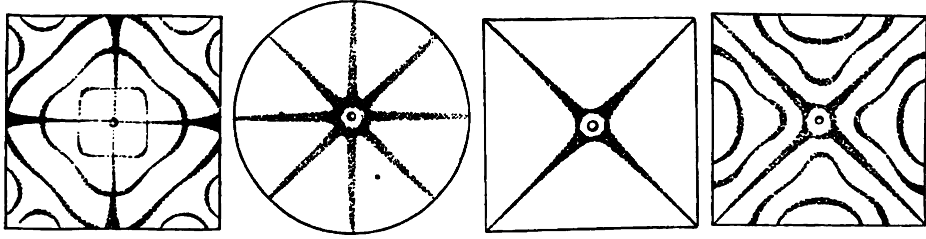


Fig. 470. Hervorbringen der Chladnischen Klangfiguren.

Die Konsonanten haben nicht einen, wenn wir den Ausdruck brauchen dürfen, so harmonischen Charakter wie er den Vokalen zukommt, sie werden durch Geräusche gebildet, deren Entstehen in der Regel mit einer Stellungsänderung der Mundhöhle zusammenhängt.


Fig. 471—474. Chladnische Klangfiguren.

Kombinationstöne. Entstehen die Obertöne alle gleichzeitig mit dem Grundtone und liegt ihre Ursache in den tonerzeugenden Körpern selbst, so gibt es anderseits Tonempfindungen, welche erst durch das Zusammentreffen verschiedener Schallwellenzüge in unserm Ohre hervorgerufen werden. Es sind dies die sogenannten Kombinationstöne, nach dem bekannten Geiger Tartini, welcher zwar nicht dieselben zuerst entdeckte, aber doch die Aufmerksamkeit auf sie gelenkt hat, auch Tartinische Töne genannt. Die Kombinationstöne entstehen einmal dadurch, daß unser Ohr die zu ungleichen Zeiten ankommenden Wellen verschiedener Wellenzüge nebenbei als eine einzige Tonursache auffaßt und infolgedessen höhere Töne empfindet, deren Schwingungszahl gleich der Summe der Schwingungszahlen der ursprünglichen Töne ist — Summationstöne — sodann aber auch dadurch, daß die Wellen der einzelnen Züge sich gegenseitig verstärken, schwächen oder gar aufheben.

Gesetzt, ein Grundton und seine große Terz seien gleichzeitig angegeben worden, so fällt allemal die vierte Verdichtungswelle des ersteren mit der fünften des zweiten Tones zusammen, und in demselben Augenblick findet ein Anschwellen statt. Wiederholt sich das in der Sekunde genügend oft, so faßt das Ohr die Gesamtheit dieser Verstärkungen, zwischen denen dann ebensoviele Abschwächungen liegen, als einen neuen tieferen Ton auf. Dies sind die ursprünglich von Sorge, einem deutschen Komponisten, um 1740 entdeckten Kombinationstöne, mit welchen sich Tartini weiter beschäftigte und die Helmholtz, entsprechend den von ihm entdeckten Summationstönen, Differenztöne genannt hat.

Wenn die Anschwellungen nicht rasch genug folgen, daß sie zur Empfindung eines Tones Veranlassung werden können, so bringen sie nur mechanische Erschütterungen, Stöße, Schwebungen im Ohr hervor. Dieselben folgen sich um so langsamer, je näher die Schwingungszahlen der beiden Töne einander liegen; um so rascher aber, je größer die Verschiedenheit derselben ist, und sie sind deshalb ein sehr sicheres und bequemes Mittel für Orgelbauer, um ihre Pfeifen genau gegeneinander abzustimmen.

Mit diesen Erscheinungen hängt auch das sogenannte Mittönen der Saiten und Pfeifen zusammen. Wenn man in den offenen Kasten eines Klaviers einen bestimmten Ton laut hineinsingt, so erfolgt ein ziemliches Geräusch durch das Erklingen einer großen Zahl durch die Luftschwingungen in Erschütterung versetzter Saiten. In diesem Geräusch tritt aber der mit dem gesungenen gleichartige Ton vorzüglich stark hervor, und er klingt noch nach, während die andern schon ganz verstummt sind, weil auf jede Saitenschwingung eine in gleichem Sinne wirkende Luftschwingung des gesungenen Tones trifft und durch diese wiederholten kleinen Impulse diese ersteren immer stärker erregt werden. Alle andern Saiten haben Schwingungen von verschiedenen Geschwindigkeiten; die kleinen Anstöße durch die Luftschwingungen können jene deswegen nicht in jedem Falle verstärken, sondern sie werden geradezu bisweilen entgegengesetzt wirken und den Ton aufheben.



Fig. 475. Fig. 476. Fig. 477. Fig. 478.
Gedackte und offene Pfeifen.

Schwingende Luftsäulen, Pfeifen. Obgleich ihrem äußeren Aussehen und der Art ihrer Behandlung nach höchst verschieden von den Saiteninstrumenten, beruhen die Blasinstrumente in ihrer Wirkung doch auf ganz analogen Gesetzen der Schwingungen wie jene. Die wellenartigen Luftverdichtungen und Verdünnungen verlaufen in ganz entsprechender Weise, und nur in der Art des Hervorrufens derselben bestehen Verschiedenheiten. In ihrer Geschwindigkeit, wodurch die Höhe des Tones bedingt wird, sind sie von der Länge der schwingenden Luftsäule im Instrumente bedingt, und diese steht in ganz direkten Beziehungen zu der Länge des Instrumentes selbst, so daß wir das Prinzip sämtlicher Blasinstrumente auf eine einfache, gerade cylindrische Röhre zurückführen können, in welcher die Luft abwechselnd verdichtet und verdünnt wird, wie das Prinzip aller Saiteninstrumente sich in den Bewegungserscheinungen einer gespannten Saite ausgesprochen findet.

Wenn wir in eine lange, unten offene Röhre blasen, so bewirken wir damit zwar eine Bewegung der eingeschlossenen Luft, aber nur eine gleichmäßig fortschreitende und keine oszillierende, wie sie zur Erzeugung eines Tones notwendig ist. Eine solche vermag z. B. eine vor der Mündung der Röhre vibrierende Zunge hervorzubringen, welche jedesmal, wenn sie sich nach der Röhre zu bewegt, eine Verdichtung der vor ihr befindlichen Luftteilchen bewirkt, beim Zurückgehen dagegen eine Verdünnung. Man kann indessen auch durch die Stöße, welche ein Luftstrom erfährt, wenn er an eine entgegenstehende Kante anprallt, eine

Luftsäule in Schwingungen versetzen, und beide Arten kommen in der Konstruktion der musikalischen Instrumente zur Anwendung. Trompete, Waldhorn, Posaune, Klarinette und Fagott sind Beispiele des ersten Falles, sogenannte Zungenpfeifen; dagegen repräsentieren Orgelpfeifen und Flöten die zweite Art, die sogenannten Flötenpfeifen, an denen wir die hier einschlagenden Gesetze erläutern wollen. Fig. 475 und 477 zeigen die äußere Ansicht, Fig. 476 und 478 aber den Durchschnitt der Pfeife. Der untere Teil, der Fuß, dient zum Anblasen. Die Luft strömt, durch einen eingeschobenen Kern c geleitet, gegen den Mund a b und erleidet hier durch den Anprall an der oberen Kante b zunächst eine Verdichtung. Dieselbe dauert zwar nicht lange, weil sie gleich nach außenhin sich verbreiten kann; durch die nachströmende Luftmasse wird aber dasselbe Spiel immer wieder aufs neue wiederholt, und es entstehen so aus den dichteren und dünneren Luftschichten Wellen in rascher Aufeinanderfolge. Die so hervorgebrachten Erschütterungen teilen sich der Luft im Innern der Röhre mit und suchen diese in gleichrasche Schwingungen zu versetzen. Da die eingeschlossene Luftsäule am leichtesten aber als ganze Masse schwingt, so wirkt sie durch ihre gewichtigeren Bewegungen auf die Schnelligkeit der an der Mündung entstehenden Wellen ein und reguliert dieselben in ihrer Geschwindigkeit. Jede Pfeife hat demnach ihren besonderen Ton, der von der Länge der in ihr schwingenden Luftsäule abhängig ist.

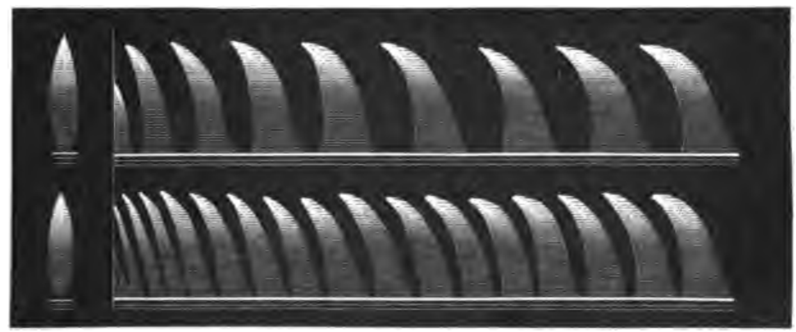


Fig. 479. Manometerflammen für den Grundton und seine Oktave.

Es leuchtet ein, daß jeder Stoß, jede Verdichtung, die von a aus auf die innere Luftsäule wirkt, sich in der ganzen Länge der Röhre als eine Verdichtungswelle fortbewegen wird, bis sie das geschlossene Ende d (s. Fig. 475 und 476) erreicht; von diesem wird sie zurückgeworfen und gelangt wieder an die obere Öffnung. Die unterste Schicht der Luft an d bleibt dabei in Ruhe, es entsteht hier ein Schwingungsknoten. Der Ton, den eine geschlossene Pfeife von $\frac{1}{2}$ Pariser Fuß Länge gibt, stimmt nun völlig mit demjenigen überein, den die Sirene bei 512 Stößen hören läßt. In der Luft legt aber der Schall in der Sekunde 1024 Pariser Fuß zurück, und da die Länge der Wellen gleich dem Raume sein muß, um welchen sich der Schall während der Schwingung eines Luftteilchens fortpflanzt, so muß jede der den obigen Ton erzeugenden Wellen $^{1024}/_{512} = 2$ Fuß lang sein, und die Länge der oben geschlossenen, gedeckten oder gedackten Pfeife (s. Fig. 475 und 476) beträgt demnach nur den vierten Teil der in ihrem Grundtone zugehörigen Wellenlänge. Die Tonhöhe ist also der Länge umgekehrt proportional. — Bei offenen Pfeifen (s. Fig. 477 und 478) bildet sich der Schwingungsknoten in der Mitte; für denselben Grundton muß also die offene Pfeife doppelt so lang sein wie die geschlossene.

Die Druckverhältnisse, welche an den verschiedenen Stellen einer schwingenden Luftsäule herrschen, hat König durch ein sehr sinnreiches Mittel sichtbar gemacht, indem er in der Wand einer offenen Holzpfeife der Länge nach eine Reihe von Löchern angebracht und jedes derselben mit einer dünnen Kautschukplatte verschlossen hat. Über diesen Löchern befindet sich eine sehr flache Kapsel, in die ein Gasleitungsrohr mündet, während nach außen zu die Kapsel einen Brenner trägt, an dem die Gasflamme entzündet werden kann. Es leuchtet ein, daß an Stellen, wo im Innern der Röhre absolute Ruhe herrscht, an Knotenpunkten, die Flamme außen ganz gleichmäßig fortbrennen wird, während an Stellen, wo die Kautschukmembran durch den wechselnden Druck vibriert, die Flamme auch in eine mehr

oder minder flackernde Bewegung geraten wird. Diese sogenannten Manometerflammen (s. Fig. 479) erweisen sich für die Untersuchung der Schwingungsverhältnisse von Luftsäulen als sehr empfindliche Instrumente.

Ebenso wie die Saite der Violine sich unter gewissen Verhältnissen freiwillig teilt und in ihrer Länge Schwingungsknoten entstehen läßt, so sind auch die tönenden Luftsäulen unter gewissen Verhältnissen geeignet, sich in aliquote, für sich schwingende Teile zu sondern und höhere Obertöne entstehen zu lassen. Man würde natürlich, wenn die Luftsäule in einer Röhre immer nur in derselben Weise zu schwingen im stande wäre, mit einem Instrumente auch immer nur einen einzigen Ton hervorbringen können. Durch jene Eigenschaft der schwingenden Luftsäule ist indessen der Künstler in den Stand gesetzt, die verschiedensten Töne erklingen zu lassen.

Die Reihe derjenigen höheren Töne, welche durch Selbstteilung der schwingenden Luftsäule in einer offenen Röhre entstehen können, wird ausgedrückt durch die Reihe:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
C	c	g	$\overline{c}$	$\overline{e}$	$\overline{g}$	$\overline{b}$	$\overline{\overline{c}}$	$\overline{\overline{d}}$	$\overline{\overline{e}}$	$\overline{\overline{f}}$	$\overline{\overline{g}}$	$\overline{\overline{a}}$	$\overline{\overline{b}}$	$\overline{\overline{h}}$	$\overline{\overline{\overline{c}}}$

Weiter hinauf rücken die Töne noch enger zusammen. Allen aus einfachen Röhren bestehenden Blasinstrumenten gibt man eine große Länge der Röhre, um die Obertöne möglichst rein und klar zu erhalten; sie werden deshalb auch auf ihren Grundton selten oder nie benutzt. Da die Schwingungszahl der Töne eine ganz genau bestimmte ist, so ist auch ein Instrument, welches seine Tonfolge über einem gewissen Grundton aufbaut, für andre Tonarten wenig oder gar nicht geeignet. In der Musik sind daher bei dieser Art von Instrumenten für verschiedene Tonarten auch verschiedene Exemplare in Gebrauch, die sich voneinander, je tiefer ihr Grundton ist, durch eine um so mehr wachsende Länge ihrer Röhre unterscheiden. Es gibt z. B. bei den Hörnern C-Hörner, F-Hörner, E-Hörner; bei den Klarinetten C-Klarinetten, D-Klarinetten, B-Klarinetten; ferner E-Trompeten, Es-Trompeten u. s. w. Die Posaune läßt die Länge der schwingenden Luftsäule und damit ihren Grundton in der bekannten Weise durch Verlängern oder Verkürzen der Röhre verändern.

Das Ohr. In unserm Ohre schlagen die Luftwellen — und andre können ja keine Tonempfindung hervorrufen — an das Trommelfell, eine zarte, die innere Höhlung abschließende, gespannte Membran. Dasselbe nimmt die Erschütterungen auf und pflanzt sie durch die auf der andern Seite in der Paukenhöhle daran liegenden und wie ein feines Hebelwerk wirkenden Gehörknöchelchen weiter bis an die entgegengesetzte Wand der Paukenhöhle, welche hier wiederum durch eine gespannte Membran von dem Labyrinth abgeschlossen wird. In dem Labyrinth befindet sich eine wässerige Flüssigkeit, das Labyrinthwasser. Demselben teilen sich also die Erschütterungen der Gehörknöchelchen mit, und es wird dadurch in hin und her gehende Bewegungen versetzt, die in ihrer Geschwindigkeit genau der auf das äußere Trommelfell wirkenden Tonhöhe entsprechen. Diese übrigens rein mechanischen Bewegungen nimmt endlich der Gehörnerv mittels ganz eigentümlicher, förmlich abgestimmter Fasern auf, so daß von einem bestimmten Tone auch immer nur ganz bestimmte dieser Fasern erregt werden, auf welcher Erscheinung die Besonderheit der Tonempfindung beruht.

So verworren und mannigfach auch die Wellenzüge sein mögen, die an unser Ohr schlagen, kraft dieser Einrichtung hat dasselbe in höchstem Grade die Fähigkeit, die zusammengehörigen Erschütterungen voneinander zu sondern und sie auf ihre einzelnen Ursachen zurückzubeziehen. Wir unterscheiden in dem Geräusch, das ununterbrochen die Außenwelt erfüllt, das Rollen des Wagens, Lachen, Sprechen, Vogelgezwitscher, das Picken der Uhr und die hunderterlei Schalle und Töne des bewegten Lebens, obgleich sie alle zusammen und auf einmal durch die hin und her gehende Bewegung der Gehörknöchelchen auf das Labyrinthwasser wirken. Der Gehörapparat ist in dieser Beziehung unendlich bewunderungswürdig und viel feiner als selbst das Auge, welches zwar, wenn es auf den Spiegel eines Teiches blickt, in den wir an zwei oder drei verschiedenen Stellen Steine geworfen haben, aus dem gekräuselten, guillochenartig verstrickten Wellennetz die einzelnen Ringsysteme heraus erkennen und auf ihre besonderen Ursachen zurückbeziehen kann, aber von dieser Fähigkeit im Stich gelassen wird, sobald die Anzahl der Erschütterungspunkte sich mehrt. Aus der Tonflut einer vollen, bewegten Orchestermusik lösen wir aber die Figuren jedes einzelnen Instrumentes, und ein geübtes Ohr vermag unter Hunderten von Sängern den Falschsingenden herauszuhören.

Die Telephonie. Es klingt mehr als phantastisch, wenn es ausgesprochen wird, daß es möglich sei, durch den elektrischen Telegraphendraht auf Hunderte von Meilen sich mit einem Entfernten zu unterhalten, so daß dieser mit dem leiblichen Ohre unsre Stimme mit allen ihren Eigentümlichkeiten vernehmen, daß er die Melodie hören soll, die wir singen, daß er empfindet, wenn wir lachen, genau so, als ob er neben uns stünde. Und doch ist diese Möglichkeit bis zu einem gewissen Grade schon zur Wirklichkeit geworden.

Der Oberlehrer Reis in Frankfurt a. M. hatte den guten Gedanken, den elektromagnetischen Telegraphen, wie er bisher ein über Länder reichendes Auge war, zu einem eben so weit empfindenden Ohre machen zu wollen. Der elektromagnetische Apparat in diesem ungeheuren Gehörwerkzeug spielt die Rolle der Gehörknöchelchen, welche die Erschütterungen von einer Membran zur andern fortpflanzen, und der einzige Unterschied zwischen dem Innern der Paukenhöhle und der Verbindungsweise zweier solcher Stationen besteht darin, daß dort die an das Trommelfell schlagenden Wellen durch ein Hebelwerk, hier durch die Erzitterungen eines Eisenstabes bemerkbar gemacht werden.

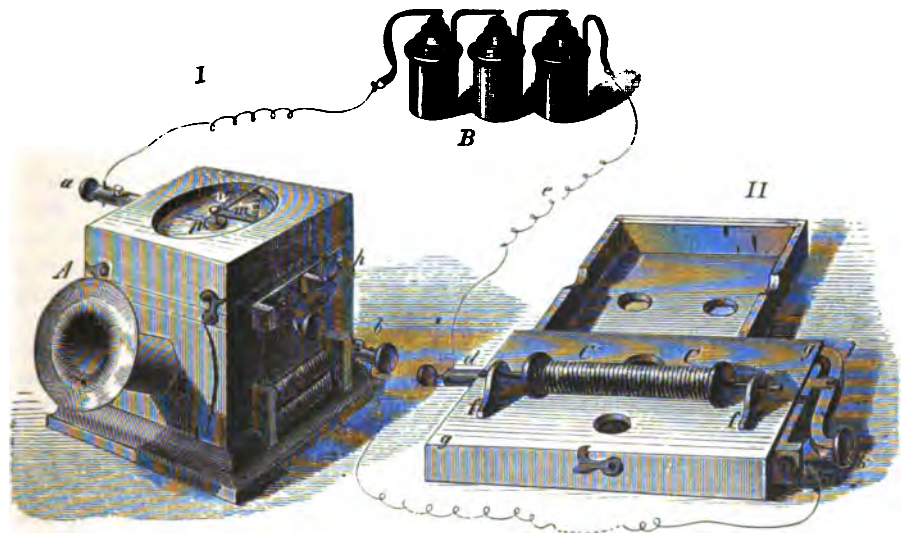


Fig. 480. Das Telephon.

Das Reis'sche Telephon ist in Fig. 480 abgebildet und hat folgende Einrichtung. Auf der ersten Station I befindet sich ein hohler Kasten, vorn mit einer Schallöffnung A versehen. In diese hinein wird die Melodie gesungen, welche dem Hörer auf der entfernten Station II hörbar gemacht werden soll. Der Kasten hat an seiner oberen Fläche eine Öffnung, mit einer aus Schweinsdünndarm hergestellten straffgespannten Membran verschlossen. Auf dieser Membran liegt ein ganz feines Platinblech p, und darauf trifft die Spitze eines federnden Platinstiftes n, der so gestellt ist, daß er das Blech p, wenn die Membran ruhig ist, gerade berührt, wenn dieselbe aber hin und her schwingt, bei jeder Schwingung das Blättchen verläßt. Durch diese abwechselnde Berührung und Trennung wird der elektrische Strom geschlossen und unterbrochen, welcher von der Bunsenschen Batterie B (3—4 Elemente) aus durch die Klemmschraube a in das Platinblech p und aus diesem durch den Stift n in die zweite Klemmschraube b geleitet wird. Von b aus geht der Draht nach der zweiten Station, umläuft hier die Spirale C C und geht aus dieser durch die Klemmschraube d und den damit verbundenen Draht e in die Batterie zurück. In der Mitte der Spirale liegt ein dünner Eisendraht, mit seinen beiden Enden in zwei Stegen f f befestigt, welche ihrerseits auf dem Resonanzboden g g ruhen. Die Teile h i k l in beiden Stationen gehören einer Telegraphenvorrichtung an, durch welche die Aufmerksamkeit des entfernten Hörers auf das Anfangen der Mitteilung gerichtet werden kann.

Das Wiedergeben des Tones beruht nun darauf, daß das Eisenstäbchen jedesmal, wenn es durch den in der Spirale kreisenden elektrischen Strom magnetisch gemacht wird,

in Erschütterung gerät. So geringfügig die Bewegungen der kleinsten Teilchen auch sein mögen, so genügen sie doch, um Wellen hervorzurufen, welche in rascher Wiederholung als Ton empfunden werden, und zwar als Ton von genau derselben Höhe, welche der am Aufgebeort in den Apparat gesungene Ton hatte, durch dessen Schwingungen die Membran erregt wurde. Der Resonanzboden dient dazu, um den Ton zu verstärken.

Reis hat mit seinem Apparat bereits im Oktober 1861 gelungene Versuche angestellt. Eine mäßig laut gesungene Melodie wurde in einer Entfernung von 100 m durch den Reproduktionsapparat deutlich wiedergegeben. Doch war derselbe noch sehr unvollkommen und es verging lange Zeit, ehe sich eine für die Praxis geeignete Form des Telephons entwickelte.

Er konnte nämlich zwar wohl die Tonhöhe ausdrücken, auch bis zu gewissem Grade die relativen Tonstärken, nicht aber die Klangfarbe, was für das Telephonieren des gesprochenen Wortes von allergrößter Wichtigkeit ist. Denn wie wir gesehen haben, ist neben der Schwingungszahl (Höhe) und der Schwingungsweite oder Amplitude (Stärke) gerade die Schwingungsform, welche durch die mitklingenden Obertöne bedingt wird, wesentlich für den individuellen, ausdrucksfähigen Ton der musikalischen Instrumente und in noch bei weitem höherem Grade für die Tonfolgen der menschlichen Stimme, der Sprache.

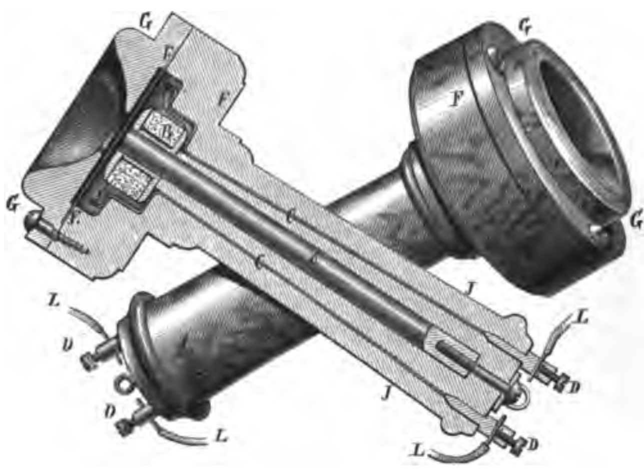


Fig. 481 und 482. Telephon von Graham Bell.

Die Schwingungsform, der Verlauf der einzelnen Schwingungen, kann nun aber nicht durch eine Folge von gesonderten Einzelströmen (pulsatorische Ströme nennt sie Bell) wiedergegeben werden, sondern nur durch Zu- und Abnahme eines stetigen Stromes. Im Gegensatz zu den pulsatorischen Strömen nennt Bell die Stromänderungen undulatorische Ströme.

Das Reissche Telephon vermochte solche undulatorische Ströme so gut wie gar nicht oder wenigstens nur höchst unvollkommen so lange zu erzeugen, als der Kontakt der Platinspitze mit dem Platinbleche dauerte. Und der Effekt derselben auf die Gehörnerven trat in den Hintergrund gegenüber den viel kräftigeren Erschütterungen, welche das mit jeder Schwingung verbundene Öffnen und Schließen des immer gleichstarken Stromes hervorbrachte.

Als man aber von dem Batteriestrome, der nur durch Unterbrechung und Schließung die Schwingungen markieren konnte, abging und die Übertragung durch induzierte Ströme geschehen ließ, da hatte man den Weg gefunden, auf welchem das Telephon der Vollendung näher gebracht werden konnte. — Mit der Lösung der Aufgabe hatten sich viele beschäftigt, sie gelang jedoch erst dem aus Edinburg gebürtigen Professor Alex. Graham Bell in Boston im Jahre 1877, allerdings gleich in einer überraschenden Weise.

Das Bellsche Telephon ist in Fig. 481 abgebildet. Es besteht der Hauptsache nach aus einem Magnetstab A, um dessen einem Polende eine Induktionsspirale B geschoben ist, die aus feinem übersponnenen Kupferdraht gewickelt ist und ihre Enden in zwei dickere Drähte C C auslaufen läßt, welche durch Klemmschrauben weiter mit den Leitungsdrähten L L in Verbindung gebracht werden. Ziemlich nahe über dem Magneten A befindet sich eine aus weichem Eisenblech hergestellte Membran E E, eine federnde dünne Platte, welche durch die Schallschwingungen in Bewegung gesetzt wird, wobei sie sich dem Magnetpole, der die Induktionsrolle trägt, in rascher Folge abwechselnd nähert und sich wieder von ihm entfernt.

Das Ganze ist in eine Holzfassung eingefügt, welche in dem Teile G G über der Membran E E eine trichterförmige Ausbohrung hat, die als Schalltrichter dient; nach unten zu wird die Holzfassung schwächer, da sie hier nur den Magnetstab, der durch eine Schraube

in seiner Lage festgehalten wird, und die beiden Leitdrähte C C zu umschließen hat. — Ein ganz gleich eingerichtetes Telephon denken wir nun auf der Endstation mit dem beschriebenen so in Verbindung, daß die Drähte L L daselbst in eben solche Klemmschrauben D D eingeführt sind. Die Wirksamkeit des ganzen Systems ist nun leicht verständlich.

Wird nämlich der Schalltrichter G G als Mundstück behandelt und in denselben hineingesprochen, so gerät die Membran E E in Schwingungen; infolge dieser Schwingungen ändert sich ihre Lage zu dem Magnetpole und damit ihr eigner magnetischer Zustand, ebensowohl aber auch der magnetische Zustand des Poles. Es entstehen Verstärkungen und Abschwächungen, die in der Induktionsspirale B Ströme induzieren müssen, undulatorische Ströme, welche in ihrem Verlaufe genau den die Membran erregenden Schallschwingungen entsprechen werden müssen.



Fig. 483. Verbindung des Bellschen Telephons.

In dem zweiten Telephon durchlaufen diese Ströme zuerst die Spirale B und bringen hier folgende Wirkung hervor. Indem sie auf den Magnetpol einwirken, ändern sie dessen Intensitätszustand und damit die Anziehung, welche derselbe auf die federnde Membran ausübt. Die letztere gibt dieser Einwirkung nach, sie gerät in Schwingungen, welche in betreff ihrer Zahl und Form genau mit den Schwingungen der erregenden Membran übereinstimmen, in betreff ihrer Intensität freilich aber schwächer sein werden als jene, da die Abstände zwischen den induzierenden Teilen des Apparates Verluste bei der Kraftumsetzung zur Folge haben müssen. Durch die Membran des zweiten Telephons, des Empfängers, werden also die vom ersten, dem Geber, kommenden elektrischen Ströme wieder als Schallschwingungen hörbar, und man braucht nur den Schalltrichter des zweiten Telephons an das Ohr zu halten, um dieselben zu empfinden. Dasselbe Telephon kann also in doppelter Weise als Sprachrohr und Hörrohr benutzt werden.

Wie bei dem Telegraphen genügt auch bei dem Telephon eine einfache Leitung, da die Rückleitung des Stromes durch die Erde vermittelt wird, so daß eine Verbindung zwischen Telephonen T 1 und T 2 entsteht, wie sie in Fig. 483 ausgedrückt ist. Die äußeren Drähte derselben sind mit der Erde in Verbindung zu denken. — An Einfachheit kann das Bellsche Telephon kaum überboten werden; die Erfinder haben deswegen auch, wenn sie einmal das Prinzip desselben angenommen hatten, zu seiner Verbesserung nur wenig beizutragen vermocht.

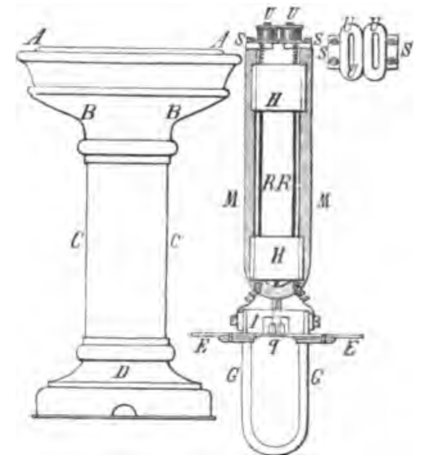


Fig. 484 und 485. Siemens' Telephon.

Das Telephon von Siemens & Halske, welches allgemein von der Deutschen Reichstelegraphenverwaltung angewandt wird, unterscheidet sich von dem Bellschen nur dadurch, daß nicht bloß der eine Pol des Magneten zur induzierenden Wirkung gelangt, sondern daß die Schwingungen der eisernen Membrame beide Pole zugleich erregen, und da die infolgedessen hervorgerufenen Induktionsströme eine größere Stärke erlangen, die Wiedergabe der Schallschwingungen auch entsprechend deutlicher werden. Erreicht wird dies dadurch, daß, wie Fig. 484 und 485 zeigt, der Magnet eine hufeisenförmige Gestalt erhält, dessen beide Schenkel M M und S S mit Polschuhen versehen sind, auf welche die Induktionsspiralen U U aufgesetzt werden. H H sind Holzplatten, welche die Leitungsdrähte R R in ihrer Lage festhalten. Die Schraube g gestattet die richtige Einstellung des Magnets der Membran gegenüber. Das Ganze ist in eine Holzfassung eingefügt, welche auch äußerlich dem Bellschen Telephon

sich nähert. Eine wichtige Zugabe ist die Signalpfeife, eine Zungenpfeife, die auf das Mundstück aufgesetzt werden kann und eine gleiche Pfeife am Empfangsapparat zum Ertönen bringt, laut genug, um die Aufmerksamkeit auf den Beginn der Unterhaltung zu richten.

Eine Verstärkung der Lautwirkung sucht Böttcher bei dem von ihm erfundenen Telephon dadurch zu erreichen, daß er den Magnet nicht fest einlegt, wie es Bell und Siemens thun, sondern ihn federnd unter der Membran aufhängt, so daß er in Schwingungen gerät, welche, da sie denen der Membran entgegengerichtet sind, die Induktionswirkung innerhalb gewisser Grenzen erhöhen. Es würde aber zu weit führen, alle Vorschläge dieser Art zu besprechen. Dagegen gibt es noch eine Klasse von Telephonapparaten, die auf einem ganz andern Prinzip beruhen, das sind die Kohlentelephone, bekannter unter dem Namen Mikrophone, den sie ihrer außerordentlichen Empfindlichkeit verdanken.

In ihnen wird die Änderung der Stromstärke, welche in dem Bellschen Telephon durch Einwirkung der schwingenden Eisenmembran auf den magnetischen Zustand des gegenüberliegenden Poles hervorgebracht wurde, durch eigentümliche Widerstandsänderungen bewirkt, welche die Kohle zeigt, wenn dieselbe in die Stromleitung einer Batterie eingefügt und den wechselnden Druckverhältnissen einer schwingenden Metallplatte, Membran, ausgesetzt wird.

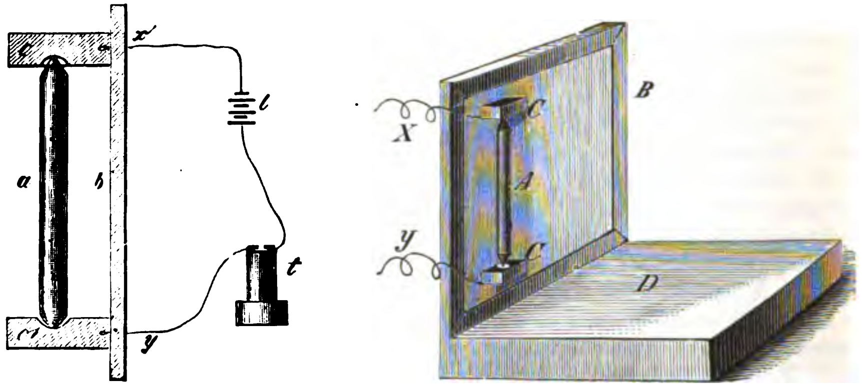


Fig. 486 und 487. Mikrophon nach Hughes.

Es ist eine bekannte Thatsache, daß, wenn eine Stromleitung so hergestellt wird, daß der eine Draht in ein Stück dichte gleichförmige Kohle, Gaskohle, ausgeht, der andre in ein Metallstück endigt, bei der Berührung dieser beiden Polenden die Stärke des durchgehenden Stromes sich mit dem Drucke ändert, mit welchem Kohle und Metall gegeneinander gepreßt werden. Bei einer Vergrößerung des Druckes vermindert sich der Widerstand, die Stromstärke wächst, als ob die Anzahl der Übergangspunkte sich vermehrte, und umgekehrt. Zwischen Kohle und Kohle ist dasselbe der Fall und die Fig. 486 und 487 sollen dies verdeutlichen. Aus der Batterie f geht der Strom durch die geschlossenen Leiter x c a c' y wieder in das Element f zurück. c und c' sind Kohlenstücke, in welche die Drähte x und y eingeführt sind, a ist ein Kohlenstab, der zwischen jenen beiden Querstücken in runden Vertiefungen lose eingeklemmt ist. Das ganze System ist an der Wand eines Resonanzbrettchens B befestigt, welches seinerseits an dem Resonanzboden D angebracht ist. Im Ruhezustande, wo der Druck zwischen a und c derselbe bleibt, ist die Stärke des hindurchgehenden Stromes eine unveränderte. Wenn aber c und c' einander genähert oder voneinander entfernt werden, wie es der Fall ist, wenn das Brettchen in Schwingungen gerät, dann drücken sie mit wechselnder Stärke gegen a, es ändert sich in gleichem Maße der Widerstand und die Stromstärke in dem angegebenen Sinne. Dies Verhalten ist durch seine ungemeine Empfindlichkeit besonders merkwürdig; die geringste Erschütterung, wie etwa der Tritt einer Fliege, welche über eines der Resonanzblättchen läuft, kann deutlich durch die solcher Art verursachten Stromänderungen hörbar gemacht werden.

Führt man also einen solchen Kohlenkontakt, der auf verschiedene Weise ausgeführt werden kann, in die Leitung eines permanenten Stromes ein, derart, daß die Metallplatte die Schallschwingungen aufnimmt und wiedergibt, so wird die Stärke des hindurchgehenden Stromes auch genau in dem Maße sich ändern, wie jene Schwingungen die Membran gegen

die Kohle andrücken. Diese Stromänderungen aber können zur Erzeugung von induzierten undulatorischen Strömen benutzt und diese letzteren dann in die Empfangsstation geleitet werden, wo sie in einem gewöhnlichen Bellschen oder Siemensschen Apparate wieder hörbare Schallschwingungen hervorrufen. Der Strom der galvanischen Kette vertritt hier den Magnet in dem Bellschen Telephon, da aber jene nicht in gleicher Weise durch den Kohlenkontakt hindurch wieder die Membran erregen kann, daß diese die Stromänderungen als Schallschwingungen wieder ausgäbe, so benötigt man bei dem Gebrauch des Kohlentelephons eines besonderen Hörapparates, wozu ein Bellsches Telephon benutzt werden kann. Das Kohlentelephon oder Mikrophon kann nur als „Geber“ dienen.

Die Kohlentelephone sind in verschiedener Weise ausgeführt worden. Edison, der erste, welcher mit einem solchen auftrat, brachte zwischen zwei Metallschiebern, von denen die eine als Membran die Schallschwingungen aufzunehmen hatte, eine Schicht von gepreßtem Lampenruß an und leitete durch dieses System den Strom, der sich in seiner Stärke ändert, je nachdem die schwingende Platte stärker oder schwächer gegen den Kohlenwiderstand andrückt.

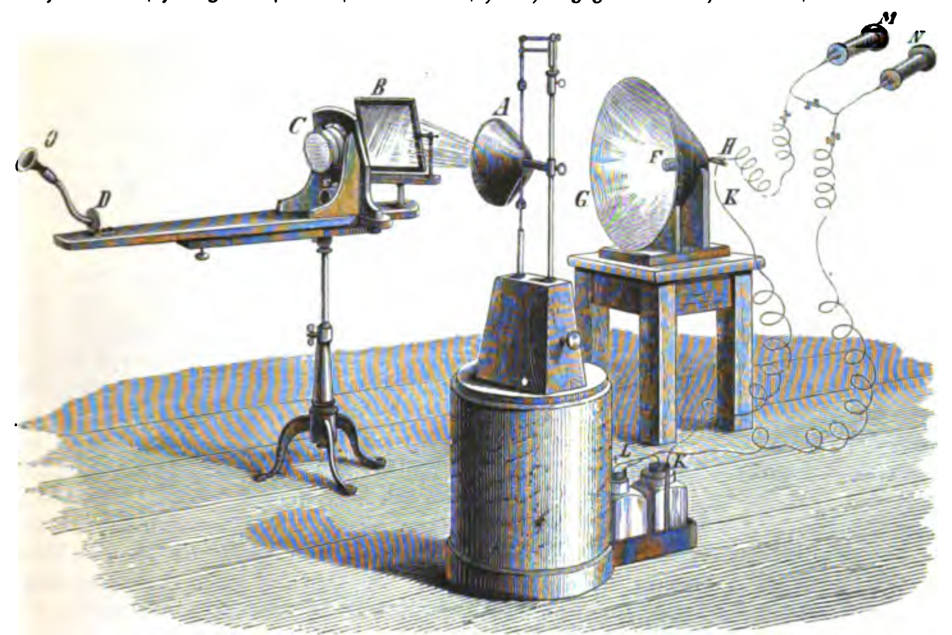


Fig 488. Photophon von Graham Bell.

In dem Mikrophon von Bell-Blake ruht auf der Membran, gegen welche gesprochen wird, eine Metallfeder mit einem Stift, der gegen ein Kohleplättchen federt, durch beide geht die Leitung in ähnlicher Weise ungefähr wie bei dem alten Reisschen Apparate. Emil Berliner in Washington läßt zwei in Scharnieren bewegliche Graphitstückchen gegeneinander drücken und durch diesen doppelten Kohlenkontakt den Batteriestrom gehen. Das Mikrophon von Ader greift auf die Hughessche Konstruktion zurück, nur daß der Strom nicht bloß durch einen Kohlenstab, sondern durch ein System von vier solchen zwischen Kohlenklötzchen eingesetzten Stäbchen hindurchgeleitet wird, wodurch eine noch größere Empfindlichkeit bei großer Sicherheit der Funktionierung erreicht werden soll. Mit Hilfe dieser Erfindungen ist nun die Telephonie zu einer Vervollkommnung gelangt, daß sie schon heute einen nicht mehr zu entbehrenden Faktor im großen Verkehrsleben bildet. Man spricht aus seinem Zimmer in einer Entfernung von vielen Hundert Kilometern bereits mit jedem, der im Besitz eines mit der Zentralstation verbundenen Apparates ist. Diese wundervollen wirtschaftlichen Erfolge können hier nicht Gegenstand weiterer Schilderungen sein — sie müssen ihre Darstellung an derjenigen Stelle finden, wo die Verkehrseinrichtungen im großen Zusammenhange beleuchtet werden.

Noch wunderbarer jedoch, als das Telephon an sich schon ist, erscheint eine Erfindung, die es nicht nur ermöglicht, das gesprochene Wort über den weiten Raum hinwegzuleiten,

sondern die es auch über die Zeit hinaus erhält in all seiner Eigenart, so daß nach beliebiger Reihe von Jahren die Stimme wieder erweckt werden kann, dasselbe Lied wieder ertönt mit dem gleichen Ausdruck, mit dem es im Moment seiner Aufnahme gesungen wurde.

Der Phonograph. Derselbe beruht darauf, daß die Tonwellen durch die Ausweichungen, in welche sie eine Membran versetzen, und mittels eines auf dieser letzteren befindlichen Stiftes Eindrücke in einen gleichmäßig auf einem Cylinder vorbeipassierenden Stanniolstreifen hervorbringen, die in ihrer Form genau der Schwingungsform jener Wellen entsprechen. Dieser Stanniolstreifen läßt sich nun aber in einem gleichen Apparate, als der ist, welcher ihm die Töne einprägte, auch wieder zur Hervorrufung derselben Töne benutzen, es braucht zu diesem Behufe nur ähnlich wie beim Bellschen Telephon der umgekehrte Vorgang eingeleitet zu werden. Wird der an der Membran sitzende Stift in die Vertiefungen des Stanniolstreifens eingesetzt und dieser letztere unter ihm hinweggezogen, so muß jener alle Ausweichungen, alle diejenigen Auf- und Niedersprünge jetzt wiederholen, durch welche er diese Eindrücke hervorbrachte. Er muß auch die Membran in dieselben Schwingungen wieder zurückversetzen, welche sie vordem durch die Stimme oder den Ton eines Instrumentes bewegt, auf ihn übertragen hatte, die Membran muß in derselben Weise erklingen, wie es die Membran eines Telephons thut. — So seltsam dies erscheint, so thatsächlich ist es. Der Phonograph spricht, singt, pfeift alles, wie es ihm vorgemacht worden ist, und beliebig oft. So oft der Stanniolstreifen unter dem Ringstift wieder vorbeigezogen wird, erklingt immer wieder dieselbe Tonfolge mit demselben Ausdruck, nur langsamer oder schneller, je nachdem die Walze gedreht wird. Trotz seiner überraschenden Leistung hat sich aber der Phonograph noch nicht wirklich brauchbar zu machen gewußt. Er gehört zur Zeit noch zu der Zahl interessanter Apparate, denen ein vorwiegend wissenschaftliches Interesse innewohnt.

Anschließend an ihn möge endlich auch einer noch viel feineren, allerdings noch nicht ausgeführten Erfindung gedacht werden, der Erfindung nämlich, ohne Zuhilfenahme von elektrischen Leitungen, lediglich durch das Licht, Töne in die Ferne zu senden. Der Apparat, der dies ermöglichen soll, ist Photophon genannt worden; folgendes ist das Prinzip seiner Einrichtung, welche von Graham Bell im Jahre 1880 erfunden worden ist.

Auf der Empfangsstation der in photophonischer Verbindung stehenden Stationen befindet sich ein Telephon, etwa von der Bellschen Konstruktion, in welchem aber anstatt des Magnetkernes weiche Eisenstäbe stecken und deren Induktionsspirale in den Schließungsdraht eines von einer Batterie ausgehenden permanenten Stromes eingeschaltet ist. Von diesem Schließungsdrahte besteht ein Stück aus Selen, einem dem Schwefel ähnlichen Körper, der die von Hittorff 1852 entdeckte Eigentümlichkeit hat, in seiner Leitungsfähigkeit durch die Lichtstrahlen beeinflußt zu werden. Mit dem Moment, wo Licht auf dieses Selenstück trifft, ändert sich nämlich die Stromstärke, und zwar entsprechend dem Grade der Belichtung.

Licht kann man aber durch Spiegelvorrichtungen von der entfernten Station hersenden, man kann das Licht genau auf die Selenstelle dirigieren, und gesetzt, daß an der Aufgabestelle die Membran, gegen welche gesprochen wird, ein solcher Art nach der Empfangsstelle gerichteter Spiegel wäre, so würden dessen Erschütterungen hier abwechselnd Belichtungen des Selens bewirken, deren Dauer und auch Stärke den ursprünglich erregenden Tonschwingungen entsprechen müßte, und die durch die gleichartigen Stromänderungen vermittelst der Telephonmembran hörbar gemacht werden könnten.

Aber, wie gesagt, zur Zeit ist diese Erfindung, so wundervoll sie gedacht ist, noch nicht ins praktische Leben eingetreten. Der Erfinder Bell hat zwar einen Apparat konstruiert, den wir in Fig. 488 in Abbildung geben und mit welchem auf eine Entfernung von 213 m gelungene photophonische Experimente gemacht worden sein sollen, allein zu praktischer Bedeutung ist derselbe noch nicht gelangt. — In demselben stellt die rechte Seite der Figur die Empfangsstation mit den beiden Schallbechern M und N dar; die Leitung aus der Batterie geht durch das Selenstück F, welches von dem auf der entfernten Aufgabestation befindlichen Spiegel B belichtet wird und demzufolge dem Stromdurchgange größeren oder geringeren Widerstand entgegensetzt. Dem Spiegel B wird das Licht, welches mit den Schwingungen der Membran des Sprechtelephons O D an der Aufgabestation wechselt, durch einen Apparat zugeteilt, zu welchem auch die Lichtquelle A gehört.



Wenn eine rein gestimmte Saite klingt,
Dann fühlt die andre liebend sich beschwingt
Und gibt den Ton ihr rein und voll zurück.
Das ist das rechte Finden zweier Seelen,
Das ist das rechte liebende Vermählen,
Der einen Liebe wunderbares Glück.

A. Schloenbach.

Die musikalischen Instrumente.

Rhythmische Instrumente. Kastagnetten. Tamburin. Trommel u. s. w. Pauken. Glocken und Glockenspieler. Melodische Instrumente. Die Harfe und ihre Erfindung. Ägyptische Harfen. Die Davidsharfe. Die Pedalharfe. Die Äolsharfe. Die Lauten, Guitarre und Zither. Das Klavier und klavierähnliche Instrumente. Geschichtliches. Hackebrett. Spinett. Klavizimbel. Christofalis Erfindung des Pianofortes. Schröter und Silbermann. Weitere Ausbildung durch Stein, Streicher u. s. w. Bau des Pianofortes, der Körper, die Mechanik. Saitenbezug. Hämmer und Dämpfung. Klangfarbe. — Die Geige und die geigenähnlichen Instrumente. Ihre Geschichte. Theorie der Geige, Bratsche, Violoncello und Baß. Blüte des Geigenbaues in Italien. Kommt durch Stainer nach Deutschland. Mittenwald. — Die Blasinstrumente. Trompeten und trompetenartige Instrumente. Ihre Einrichtung und Theorie. Horn und Posaune. Anwendung der Klappen und Ventile. Sax und Cerveny. Flöte. Klarinette. Fagott. Bohms System. — Die Orgel. Geschichte. Einrichtung derselben. Register. Stimmenzusammensetzung. Schleiflade. Kegellade. Hahnenlade. Interessante Orgelwerke.

Die Indier, welche in ihrem Kultus der Musik von jeher einen überaus hohen Rang einräumten, lassen es sich nicht nehmen, die Erfindung der musikalischen Instrumente als eine indische hinzustellen. In der Sammlung der „Märchen des Papageis“, welche im Orient sich einer nicht geringeren Beliebtheit erfreut als die „Tausend und eine Nacht“, wird die Geschichte von dem weisen Vogel folgendermaßen erzählt. „Die Indier behaupten: der Brahmane Sâz-Perdâz habe in einem Walde zwischen den Ästen eines Baumes von der Luft getrocknete Eingeweide eines Affen gefunden, der von Ast zu Ast gesprungen war und sich den Bauch aufgeschlitzt hatte. Diese Eingeweide seien die ersten gespannten Saiten gewesen, die vorkamen, und erklangen, wenn der Wind darüber strich, in

lieblichen Tönen. Säz-Perdäz, hierdurch aufmerksam gemacht, habe dann eine Art Lyra verfertigt, deren Form und Bespannung später in allen Weisen geändert und fortgebildet wurde. Die beglaubigte Ansicht ist aber die, daß die Flöte das erste bekannte musikalische Instrument war, zu deren Erfindung der längliche, von einer Reihe kleiner, runder Löcher durchbrochene Schnabel des Vogels Kyknos schon im grauen Altertum Anlaß gegeben haben soll, da, so oft der Vogel ausatmete, aus seinem Schnabel verschiedene wunderbare Töne hervorklangen!"

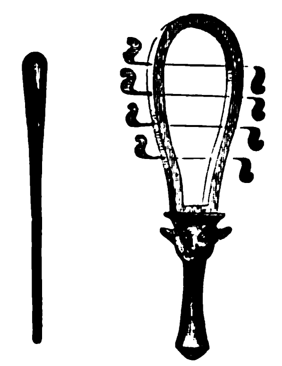


Fig. 490. Das alte ägyptische Kemkem.

Wie dem nun auch sei, für die physiologische Erörterung der Frage ist es von Wichtigkeit, zu bemerken, daß bei allen Völkern die ersten musikalischen Produktionen aus dem Wohlgefallen an rein rhythmischen Reizen hervorgegangen zu sein scheinen, denn wir finden auf den niedrigsten Stufen der Kultur fast ausschließlich solche Instrumente, welche durch ein charakteristisches Geräusch den Takt zu den Tänzen zu schlagen erlauben.

Die rhythmischen Instrumente. Von einem rohen Holzklotz, auf welchen die Fanneger mit hölzernen Klöppeln schlagen, bis zu den Trommeln und Kastagnetten, deren Gebrauch, wenn auch in beschränktem Maße, selbst die moderne europäische Musik nicht verschmäht, gibt es eine Reihe solcher Instrumente, deren ausführlichere Betrachtung selbst als Vorläufer hier wenig gerechtfertigt werden dürfte. Als eigentliche Musikinstrumente stehen dieselben auf der niedrigsten Stufe; sie können an sich nicht als Ausdrucksmittel feiner Empfindungen dienen. Da aber in jeder Musik das Rhythmische neben dem Melodischen und Harmonischen seine volle Berechtigung hat, ja ein untrennbarer Faktor derselben ist, so werden anderseits seine Organe auch in gewisser Verwendung bleiben.



Fig. 491. Tamtam am Palaste des chinesischen Kaisers.

In der sehr primitiven Form dieser Instrumente hat die Zeit keine wesentlichen Verbesserungen anzubringen vermocht, ja wenn wir die heutzutage in Gebrauch befindlichen mit den vor alters geübten vergleichen, so dürfte es uns fast erscheinen, als ob ein Rückschritt auf diesem Gebiete zu bemerken wäre. Eine große Zahl derartiger Instrumente sind, wie das Kemkem oder die Isisklapper der alten Ägypter, für uns nur noch als historische Gegenstände vorhanden. Indessen haben wir keinen Grund, über einen Ausfall uns zu beklagen, den der sich bildende feine Geschmack selbst veranlaßt hat. Jetzt bedienen sich nur noch diejenigen Völker, deren nationale Eigentümlichkeiten sich am unvermischtesten zu erhalten vermocht haben, der „krustischen Instrumente" bei ihrer Musik besonders reichlich. Die spanische Volksmusik verwendet in ihren Tänzen und Chören als ein charakteristisches Instrument die Kastagnetten, gehöhlte Hölzer in der Form von Nußschalen, die mittels einer Schnur um die Finger gehängt und im Takte gegeneinander geschlagen werden. Daneben dient das Tamburin, ein hölzerner Reif, mit einem gespannten Fell überzogen, häufig mit Klingeln besetzt, zur Markierung des Rhythmus. Es wird beim Tanze gebraucht

und, in der linken Hand über dem Kopfe gehalten, mit dem Fingerrücken der rechten geschlagen. Die Trommel in ihren verschiedenen Formen: Wirbeltrommel (klein und hoch), Lärmtrommel (flach) und große Trommel, ist mit dem Tamburin nahe verwandt, nur hat dieselbe einen vollständig geschlossenen Körper von Holz oder Messing, oben und unten mit gespannten Häuten, dem Trommelfell, versehen.

Von Metallschlaginstrumenten sind die Becken, flache, etwas gehöhlte Metallteller, gut gehämmert, der Triangel, der in der Janitscharenmusik verwandte halbe Mond und das Tamtam zu erwähnen, letzteres ein metallenes Instrument, welches die Form einer großen, schwach gewölbten Schale mit niedrigem Rande hat. Es spielt wie der Gong, d. i. eine große elliptische Trommel, eine bedeutende Rolle in der chinesischen Staatsmusik.

Sämtliche der bisher genannten Instrumente zeichnen sich durch keinen bestimmt hervortretenden Ton aus. Ihre Klangwirkung ist durch das gleichzeitige Hervortreten einer sehr großen Anzahl von unharmonischen Partialtönen charakterisiert und deswegen ihr musikalischer Wert ein sehr geringer. Übrigens ist die allerneueste Musik in der Verwendung derartiger Mittel wieder viel weiter gegangen, und die Sucht, überraschende Klangeffekte zu bewirken, hat nicht nur den Schellen, Sporen, Gewittertafeln u. s. w. einen Platz im Orchester angewiesen, sondern manchen Komponisten ist es als eine würdige Aufgabe erschienen, selbst das Pfeifen und das Geräusch der Lokomotive, das Klatschen der Peitsche und Ähnliches als Reizmittel zu benutzen. Ob das ein Fortschritt genannt werden kann?


Fig. 492. Der Saufang. Glocke aus dem 6. Jahrhundert.

Eine Stufe höher als die vorigen stehen gewisse, mit jenen noch verwandte Instrumente, denen aber ein bestimmter Ton angehört und die deswegen in melodischen und harmonischen Tonverbindungen gebraucht werden können.

Die Pauken sind trommelartige Instrumente mit einem halbkugelförmigen, hohlen kupfernen Körper, über den ein Fell gespannt ist.

Die Glocken bilden gekrümmte Platten und bestehen bekanntlich aus besonderen Metallmischungen. Ihre Herstellung bildet eine eigentümliche Kunst, die „Glockengießerei“, welcher wir im IV. Bande Aufmerksamkeit schenken werden.

Die Glocken sind, wie es scheint, christlichen Ursprungs. Der deutsche Name ist nach Grimm von dem althochdeutschen Wort clocha und dieses von clochen, d. h. schlagen, klopfen, abzuleiten. Im Lateinischen heißen sie außer campanae auch nolae, und zwar, wie viele behaupten, weil sie zuerst zu Nola in Kampanien gegossen worden seien, oder weil das von dort bezogene Erz für das beste gegolten habe. Im 9. Jahrhundert schon bedienten sich die öffentlichen Ausschreier einer kleinen Glocke, des Tintinnabulum, und es leuchtet ein, daß ein so einfaches Instrument sehr bald in verschiedenartiger Form und Größe hergestellt worden ist. Abbildungen von Glocken und Glockenspielen geben die Manuskripte schon sehr früher Jahrhunderte. Der Haupt- oder Grundton einer Glocke hängt ab von dem Durchmesser der Öffnung, von ihrer Dicke, von ihren Elastizitätsverhältnissen (Steifheit) und endlich von dem Gewicht. Neben dem Grundtone tritt aber bei jeder Glocke eine große Menge von Obertönen auf, von denen auch viele unharmonisch wirken. Dadurch und durch die entstehenden Kombinationstöne, von denen man namentlich bei dem Nachsummen die tiefen hört, erhält das Geläute seine große Tonfülle. Da das Metall sehr spröde ist und eine nachträgliche Bearbeitung auf der Drehbank viel Mühe und Kosten verursacht, so ist es Aufgabe, den verlangten Ton gleich durch den Guß zu erzeugen, und ein gut stimmendes Geläute ist daher ein ziemliches Kunstwerk. Früher mehr als jetzt liebte man es, eine große Anzahl von verschieden gestimmten Glocken zu einem Instrument zusammenzusetzen, dem Glockenspiel, und durch Anschlagen in entsprechender Reihenfolge Musikstücke darauf zu exekutieren. In der St. Georgskirche zu Boscherville in der Normandie findet sich ein aus dem 11. Jahrhundert stammendes Basrelief, welches eine musizierende Gesellschaft zeigt mit mannigfachen Instrumenten, wie sie damals in Gebrauch

waren. Wir geben in Fig. 495 eine Abbildung dieser interessanten Steinhauerarbeit, auf die wir im Verlaufe noch öfter zu sprechen kommen werden. Unter den Figuren, welche auf ihr dargestellt sind, befinden sich auch zwei. die beiden letzten an der unteren Abteilung, welche ein Glockenspiel traktieren; der Stein ist zwar gerade an dieser Stelle von dem Zahne der Zeit am empfindlichsten benagt worden; indessen dürfen wir aus dem, was übrig geblieben ist, und bei der Einfachheit der Spielweise dieser Instrumente uns das Fehlende sehr leicht in Gedanken ergänzen.


Fig. 493. Glockenspiel.

Über die Art der Anordnung der größeren Glockenspiele und ihre Behandlung geben uns die Figuren 493 und 494 Auskunft.

In kleinerem Maßstabe ausgeführt, gibt es auch in der Orchestermusik Glockenspiele, die durch kleine Hämmerchen geschlagen werden.

Die größten Glocken befinden sich, einige russische ausgenommen, wohl in Deutschland; unter ihnen ist für uns die wichtigste die 1000 Zentner schwere Kaiserglocke, welche zur Erinnerung an die Siege der Deutschen 1870/71 aus erbeuteten französischen Kanonen gegossen und auf dem Kölner Dome aufgehängt worden ist, und Fig. 492 stellt eine der ältesten, den sogenannten „Saufang“, in der Cäcilienkirche zu Köln dar, welcher aus einer an den Rändern übereinander genieteten Eisenplatte hergestellt ist. In England liebt man statt des mächtigen, großen Klanges mehr die Kombinationen mehrerer kleinerer Glocken, und die Türme besitzen daher oft Glockenwerke mit einer ganzen Reihe von in der diatonischen, bisweilen auch chromatischen Tonleiter gestimmten Glocken. Das Anschlagen derselben erfolgt dann auch nicht in den rhythmischen Zwischenpausen wie bei uns, sondern die einzelnen Töne werden in allen möglichen Kombinationen miteinander verbunden, so daß bald die Skala durchlaufen wird, bald Terzen, Sextengänge ꝛc. ausgeführt werden, und es bilden sich oft ganze Gesellschaften von Läutern, welche, das Land durchziehend, sich mit ihren Leistungen hören lassen. Bei der Regellosigkeit derselben kann diese aber ebensowenig wie das Hervorbringen mathematischer Kombinationen auf den Namen „Kunst“ oder „Musik“ Anspruch machen.


Fig. 494. Glockenspieler.

Anstatt der Glocken verwendet man seit einiger Zeit zu gleichen Zwecken große metallene Stäbe, namentlich von Gußstahl. Ihre Herstellung und Stimmung ist bei weitem leichter zu erreichen, und außerdem bedingt ihre Aufhängung, weil sie nicht durch Schwingen, sondern durch bloßes Anschlagen geläutet werden, einen viel weniger schwierigen und kostspieligen Bau. — Die Glockenspiele leiten uns von selbst auf ein Instrument über, welches jetzt fast nur noch in der Hand von Marktkünstlern zu

finden ist. Es ist dies die sogenannte Strohfiedel. Im Böhmischen heißt sie „hölzernes Gelächter“, und dieser Name drückt ihren Wert so ziemlich bezeichnend aus. Sie besteht aus Stäbchen von trockenem Tannenholz, welche, ungleich lang, durch Anschlagen ihrer Länge entsprechend verschiedene Töne geben und so in sehr engen Grenzen musikalische Leistungen ausführen lassen. Die einzelnen Holzstäbchen sind miteinander durch Fäden verbunden und liegen hohl auf zwei länglichen Strohbündeln, welche Anordnung dem Instrument den eigentümlichen Namen verschafft hat.





Fig. 495. Darstellung einer Musikaufführung nach einem Basrelief aus dem 11. Jahrhundert.

Die melodischen Instrumente. Die vollkommneren Instrumente, zu deren Betrachtung wir nun übergehen, unterscheiden sich von den vorher genannten dadurch, daß ihre Einrichtung dem Künstler eine mehr oder weniger freie Behandlung der Tonverbindungen erlaubt. Verfolgen wir bei unsrer kurzen Revue den Plan, von dem musikalisch Einfachsten bis zu dem Zusammengesetzteren und Leistungsfähigeren überzugehen, so hätten wir die Glockenspiele und die Strohfiedel eigentlich schon mit unter dieser Überschrift anführen müssen, indessen bei ihrer beschränkten Verwendung haben wir wohl ein Recht, sie von den eigentlichen musikalischen Instrumenten auszuschließen.

Die melodischen Instrumente teilen sich nun in solche, welche für jeden ausführbaren Ton einen eignen Klangkörper besitzen, gleichviel, sei dies eine Saite oder eine Luftsäule von bestimmter Länge, und in solche, bei denen ein tönender Körper durch Veränderung

seiner Verhältnisse, Länge oder Spannung eine ganze Reihe von Tönen nach dem Belieben des Künstlers erzeugen läßt.

Die ersteren, zu denen z. B. die Harfe, das Klavier, die Orgel u. s. w. gehören, sind in bezug auf die musikalische Ausdrucksfähigkeit von etwas beschränkterem Gebiete als die letzteren, Geige, Posaune u. s. w.; indessen wäre es falsch geurteilt, wenn wir aus diesem rein physikalischen Wesen ihnen eine geringere Wirkung zuschreiben wollten. Kunstfertigkeit in der Behandlung, Geschmack und vor allem die Empfindung des Musikers geben jedem Instrumente erst Seele und Leben; hat es der „Liebe" nicht, so bleibt selbst das vollkommenste eine „tönende Schelle."

Hier aber, wo wir es weniger mit der Ästhetik als mit der Physik der Musikinstrumente zu thun haben, mag uns jener Gesichtspunkt einigermaßen ein Leitfaden sein, und wir beginnen deshalb mit den einfachsten Formen, in welchen gespannte Saiten zu einem musikalischen Instrumente vereinigt werden können.

Die **Harfe** ist unter den Saiteninstrumenten insofern das einfachste, als die Stimmung jeder der gespannten Saiten eine feststehende ist. Jedem Tone entspricht eine besondere Saite, und der Effekt wird dadurch hervorgebracht, daß man die Saite durch Reißen mit dem Finger in schwingende Bewegung versetzt. Die Anordnung der verschieden langen Saiten bedingt eine eigentümliche dreieckige Form des Instruments, so daß die kürzeren Diskantsaiten gegen den Scheitel des Winkels zu, die längeren Baßseiten der vorderen Öffnung zu aufgespannt werden. An dem oberen Schenkel befinden sich wirbelartige Stifte, durch deren Drehung die Saiten mehr oder weniger angespannt und harmonisch zu einander eingestimmt werden können. Der untere Körper des Instruments besteht gewöhnlich aus einem hohlen Resonanzkasten, um den Ton zu verstärken; die vordere Seite des Dreiecks wird durch eine Säule gebildet, welche der Spannung der Saiten entgegenwirkt.

Das durch wunderbar schöne musikalische Effekte ausgezeichnete alte Instrument ist leider heutzutage durch eine Anzahl neuerer ziemlich verdrängt worden. Bei uns trifft man es in seiner vollendeten Form nur ausnahmsweise in Theatern und Konzerten; in seiner alten, einfachen Gestalt fast nur in den Händen armer vagierender Musikanten; einen stehenden Platz nimmt es weder als Familieninstrument, noch in der Orchestermusik mehr ein. Anders ist es in Schottland, wo die alte Davidsharfe als Nationalinstrument sich in ihrer ursprünglichen Bedeutung bei den Familien- und Volksfesten erhalten hat.

Die Einfachheit der Konstruktion und das Brillante des Tones, welches eine einigermaßen gut gebaute Harfe hat, sind wohl als die Ursachen anzusehen, daß wir dieses Instrument beinahe als ein Eigentum aller Kulturvölker finden. Die alten Hebräer scheinen die Harfe nicht gekannt oder wenigstens nicht adoptiert zu haben. Wir müssen hier ein- für allemal erwähnen, daß die Geschichte der musikalischen Instrumente an großen Unsicherheiten leidet, die vorzugsweise durch die unzuverlässige Nomenklatur hervorgerufen worden ist. Ein und dasselbe Instrument wird in verschiedenen Quellen bald unter diesem, bald unter jenem Namen aufgeführt, und für ein Ding kann man bisweilen zehn Benennungen finden; bald aber wieder wird dieselbe Bezeichnung auf offenbar ganz verschiedenartige Instrumente angewandt, so daß wir, wenn anders nicht detaillierte Beschreibungen oder sonstige Anhaltspunkte gegeben sind, woraus wir uns von der Natur der angeführten Instrumente einen Begriff machen können, die frühere Geschichte derselben nur mit großer Vorsicht betrachten dürfen. Alte Skulpturen, Malereien und dergleichen bildliche Überlieferungen geben den sichersten Anhalt. Die Einrichtung der Harfe beruht auf so naheliegenden Prinzipien, daß man bei ihr kaum von einem Erfinder und einer bestimmten Zeit der Erfindung reden kann, und wir finden daher die ältesten Sagen genötigt, denjenigen, welchem sie die Erfindung der Harfe zuschreiben, aus der Zahl der Götter zu nehmen, weil seine Zeit so weit zurücklag, daß man von seiner Persönlichkeit eine nähere Kenntnis nicht haben konnte. Censorinus, welcher die Fabel von der Erfindung der Harfe ohne Zweifel griechischen Autoren entnommen hat, erzählt, daß Apollo zuerst die Fülle und Schönheit des Tones bemerkte, welcher die Saite an dem Bogen seiner Schwester Diana beim Schwirren hören ließ, und daß er absichtlich mehrere solcher Saiten nebeneinander spannte, um eine harmonische Wirkung durch ihre Vereinigung zu erzielen. Diese Fabel zeigt sehr schön, wie ein geistvoller Mensch durch verständige Anwendung einer einzigen

Naturbeobachtung der Menschheit einen köstlichen Dienst erweisen kann. Es bleibt uns freigestellt, ob wir der Erzählung eines solchen Ursprungs Glauben schenken wollen oder nicht, indessen, wenn wir die ältesten ägyptischen Harfen miteinander vergleichen und sie so zusammenordnen, daß sie von den einfachsten zu den kompliziertesten eine fortgehende Reihe bilden, so scheint die Mythe einige Wahrheit beanspruchen zu können. Wir versuchen durch Abbildung einiger derartiger Instrumente (s. Fig. 496), wie sie im Original das Museum im Louvre zu Paris aufbewahrt, dem Leser einen sichtbaren Beweis davon zu geben. Zwischen der ältesten authentischen Form Nr. 3 und dem gespannten Jagdbogen die Stufe auszufüllen, hat Francesco Bianchini versucht, indem er behauptet, daß ähnliche Instrumente in einem alten Sarkophag gefunden worden seien. Ob oder ob nicht, hat für uns keinen andern Wert, als den einer Spielerei mit Kuriositäten.

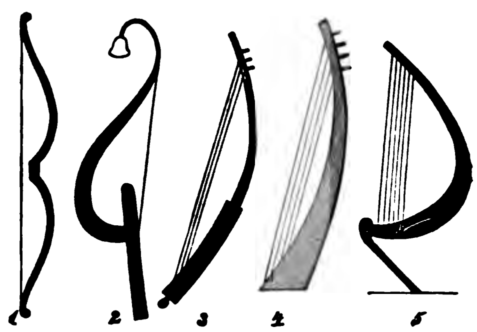


Fig. 496. Älteste Formen der Harfe.

Bei den alten Ägyptern, auf deren monumentalen Darstellungen wir zuerst der Harfe begegnen, erhielt dieselbe eine verschiedene Form, je nach dem Zwecke ihrer Verwendung. Die kleineren Harfen (3 und 4) wurden z. B. auch als Marschinstrument gebraucht und bei dieser Gelegenheit auf der linken Schulter getragen, vermutlich mittels eines Riemens in ziemlich horizontaler Stellung befestigt, und mit beiden Händen gespielt. Die Zahl der Saiten war bei größeren Instrumenten eine bedeutendere, und sie vermehrte sich im Laufe der Zeit und mit der fortschreitenden musikalischen Bildung mehr und mehr. Ebenso wurde auf die äußere Ausstattung und die vollkommenere Ausführung des Instruments immer mehr Rücksicht genommen, und Abbildungen sowohl als im Original auf uns gekommene Instrumente zeigen uns den hohen Grad der Kunstfertigkeit und des Geschmackes, womit die damaligen Instrumentenbauer zu arbeiten wußten. Namentlich scheinen diejenigen Instrumente, die von den Priestern bei ihrem Kultus gespielt wurden, mit aller möglichen Kunst ausgeführt worden zu sein. Der Körper war auf das zierlichste geschnitzt, bemalt, mit symbolischen Figuren verziert, vergoldet und bisweilen mit feinem Leder überzogen. Auf dem Grabmal des Sesostris befindet sich das Bild eines harfespielenden Priesters; seine Harfe hat 13 Saiten. Der vordere Teil trägt den Kopf einer göttlichen Figur, mit dem heiligen Pschent geschmückt (s. Fig. 497).


Fig. 497.
Altägyptischer Priester, die Harfe spielend.

Von den Ägyptern, so müßten wir eigentlich annehmen, sei die Harfe zu den Hebräern übergegangen. Es liegt indessen für uns kein andrer Beweis als die Vermutung vor, denn weder sind uns aus dem alten Judenreiche bildliche Darstellungen übrig geblieben, aus denen wir eine Bestätigung dieser Ansicht annehmen könnten, noch auch geben uns die schriftlichen Überlieferungen einen genügenden Anhalt dazu. Alle die Nachrichten von dem harfespielenden David, aus dem Buche Hiob u. s. w., lassen sich ebenso gut, ja fast besser, auf andre Instrumente deuten, und der in der Übersetzung gewählte Name allein kann selbstverständlich keine Garantie für die Übereinstimmung der Begriffe sein. Es wird zwar fast zur Gewißheit, daß bei dem innigen Verkehr, der zwischen Ägypten und Kleinasien bestand, eine gegenseitige genaue Bekanntschaft mit allen Erzeugnissen der Kunst und der Industrie vorhanden gewesen sein muß; wir finden aber nirgends angegeben, daß die beiden Instrumente kinnor und nebel, deren Namen Luther mit „Harfe“ übersetzt hat, in der That auch wirklich der ägyptischen Harfe entsprochen hätten, und so müssen wir die Frage unentschieden lassen, wenn wir nicht glauben wollen, was von einigen behauptet wird, daß die

Juden an dem Klange der Harfe keinen Gefallen gefunden und deswegen ihre allgemeine Anwendung verschmäht hätten.

Bei den Griechen dagegen dürfen wir den Gebrauch der Harfe und harfenartiger Instrumente als gewiß voraussetzen, wenn auch die Lyra, die Kithara und ähnliche Saiteninstrumente nicht direkt mit unsrer heutigen Harfe zu indentifizieren sind. Eine Menge Abbildungen, namentlich auch aus den Ruinen von Pompeji und andern süditalienischen Gegenden, wohin sich griechische Sitte und Bildung zunächst verbreitet hatten, sind uns entsprechende Beweise dafür. Die Lyra scheint das älteste dieser Instrumente gewesen zu sein, sie hat sich wohl bis in das 10. Jahrhundert, wenn auch mit einigen Abänderungen, erhalten. Die Zahl ihrer Saiten schwankte von drei bis acht. Gewöhnlich hatte sie deren fünf. Mehr Saiten, die demnach auch eine etwas andre Form des Instruments bedingten, hatte das Psalterion, das übrigens ebenso wie die Lyra auf oder zwischen die Kniee aufgestemmt wurde und dessen Saiten mit den Fingern gerissen wurden. Die Saitenzahl scheint von zehn bis zwanzig gewechselt zu haben. Von der Lyra war das Psalterion insofern verschieden, als der resonierende Tonkörper das Instrument bei ihm nach obenhin begrenzte, wie Fig. 498 zeigt, welche nach einer Abbildung in einem Manuskript aus dem 9. Jahrhundert gezeichnet ist. Eine andre Form zeigt die folgende Abbildung eines Instrumentes aus dem 12. Jahrhundert, und in dieser können wir schon den Vorläufer unsrer Guitarren erblicken, wenn wir den runden Teil, über welchen die Saiten hinweggespannt sind, als den resonierenden Kasten nehmen. Das Psalterion wechselte im Laufe der Zeit seine Form noch mehr, es erhielt bis zu 32 Saiten, und Maler und Dichter der damaligen Zeit versäumen nie, es seines wunderbaren Wohllauts wegen als das vorzüglichste Instrument bei den himmlischen Konzerten zu rühmen. Der Spielende trug es im 14. Jahrhunderte auf der Brust mit zwei vorspringenden Hörnern auf seinen Armen ruhend und hatte die beiden Hände frei, um mittels kleiner Stäbchen die Saiten reißen zu können. Vielleicht ist das dolcenulos genannte Instrument, welches im 14. Jahrhundert aufkam und mitunter als Vorläufer des Clavicords genannt wird, nichts andres gewesen als ein Psalterion mit besonders großem, kastenartigem Resonanzkörper.



Fig. 498. Psalterion aus dem 9. Jahrhundert.

Es ist merkwürdig, daß wir an rein römischen Monumenten kein Beispiel davon finden, und möglicherweise ist die Harfe auch mehr in den südlicheren, von griechischen Kolonien bevölkerten Landstrichen in Gebrauch gewesen, während der strenge Sinn der Römer, überhaupt wenig den zarten Einwirkungen der Künste zugänglich, seinen musikalischen Bedarf durch die kleine, aber kriegerische Trompete vollständig deckte.

Weiter hinauf nach Norden jedoch, in den germanischen Wäldern, finden wir damals schon, wie jetzt noch in den umwölkten, hohen Gebirgen Schottlands, die Harfe als das eigentlich nationale und heilige Instrument, von den Barden beim Vortrag ihrer Gesänge gespielt. Der überirdische, ätherische Klang macht die Harfe auch wie kein andres Instrument geeignet, mit ihren Tönen die vom Dichter heraufbeschworenen nebelhaften Gestalten

der Vergangenheit zu umschweben oder den Blick in die vom begeisterten Seher aufgerollte Zukunft zu begleiten. Ossian und Fingal können ohne Harfe nicht gedacht werden. Diesseit der Alpen war sie überall verbreitet.

Wie man aus alten Abbildungen ersehen kann, unterschied sich die Harfe aus dem 9. Jahrhundert von der modernen Harfe sehr wenig in der Form ihrer Bauart. Allein diese einfachste und sozusagen natürlichste Form hat das Instrument nicht minder beibehalten. Mit der Vermehrung der Saiten, die dem sich ausbildenden musikalischen Geschmack in der früheren geringen Zahl nicht mehr genügten, waren mancherlei Formversuche verbunden, die zum Zwecke hatten, das umfangreicher werdende Instrument tragbar zu erhalten. Man findet bis in das 12. Jahrhundert in den alten Manuskripten Abbildungen, welche die verschiedensten und oft sehr abenteuerlichen Gestaltungen der Harfe darstellen. Bald haben sie einen viereckigen, bald einen dreieckigen, bald einen runden Kasten; bald ruhen sie mit einem Querstück, dessen Ende in phantastische Tierfratzen ausläuft, auf der Schulter; bald werden sie, die leichtesten, an einem Bande um den Nacken getragen, wie z. B. die Harfen der Minstrels.

Im 16. Jahrhundert trat die Harfe hinter andre Instrumente im Gebrauch zurück. Die in Italien und Spanien beliebten Saiteninstrumente Guitarre, Theorbe, Mandoline u. s. w. verdrängten sie als Soloinstrument, und nur da, wo sich tiefer begründete nationale Sitten mit ihrem Spiel verschwistert hatten, wie auf den britischen Inseln, erhielt sie sich in altem Ansehen. Die heute noch gebräuchliche schottische Harfe ist ein ziemlich ursprüngliches Instrument, welches unsern Musikbegriffen nur in geringer Weise genügen würde. In England und Frankreich sind dagegen Harfen in öfterem Gebrauch, die sich durch eine vollkommenere Einrichtung auszeichnen und in dieser Form allerdings zu den schönsten aller harmonischen Tonwerkzeuge zu rechnen sind.


Fig. 499. Psalterion aus dem 12. Jahrhundert.

Die Kunst hat in der letzten Zeit die Vervollkommnung der einfachen Harfe auf eine höhere Stufe getrieben. Da das alte Instrument nur einen diatonischen Bezug hatte und dem Spieler nur ein höchst beschränktes Modulieren erlaubte, wodurch seinem Gebrauch in unsrer heutigen Musik ein großes Hindernis entgegenstand, so wurden mancherlei Versuche gemacht, demselben abzuhelfen. Die chromatische Tonleiter durch Einschaltung neuer Saiten herzustellen, dazu war an dem durch die Art und Weise seines Gebrauchs in seiner Größe bestimmten Instrumente kein Platz vorhanden. Man half sich deswegen zuerst, wie es noch die Harfenistinnen auf den Messen thun, damit, diejenigen Saiten durch Anspannung des Wirbels während des Spieles um einen halben Ton zu erhöhen, welche in der Grundstimmung des Instruments für eine andre Tonart, also zu tief standen. Es waren zu diesem Zwecke an dem oberen Wirbelstock bewegliche Haken angebracht. Die Größe der erforderlichen Drehung gibt die Übung ziemlich rasch in die Hand. In der allerersten Zeit verkürzte man gar die Saite bloß durch Spannung mittels eines Fingers. Aber schon um 1720 erfand der berühmte Harfenspieler Hochbrucker aus Donauwörth eine Vorrichtung, welche durch einen Fußtritt in Bewegung gesetzt wurde und dadurch die Saiten am Wirbelstock um den entsprechenden Teil verkürzte. Damit entstand die Pedalharfe, eine Einrichtung, welche für das schöne Instrument eine ungemeine Vollkommenheit ermöglichte. Sie wurde denn auch sehr bald über ganz Europa verbreitet und von Instrumentbauern und Künstlern rasch mit Verbesserungen und Erweiterungen versehen. Namentlich Sebastian Ehrhardt, ein Elsässer, der sich später nach Paris wendete und dort die unter dem Namen „Erard“ noch bestehende und berühmte Instrumentfabrik begründete, vervollkommnete den Mechanismus der Pedalharfe, indem er eine äußerst sinnreiche Vorrichtung erfand, welche die Stimmung durch ein und dasselbe Pedal nacheinander um zwei halbe Töne erhöhen ließ, so daß wir jetzt eine solche Erardsche Pedalharfe zu den vollkommensten Instrumenten, die es überhaupt gibt, zu zählen berechtigt sind. Es war freilich seit der

Hochbruckerschen Erfindung ein Zeitraum von hundert Jahren vergangen, während welcher Zeit jenes Instrument in alleiniger Geltung gestanden hatte. Jetzt ist dasselbe fast ganz verdrängt. Es ist dies vielleicht zu bedauern, denn der hohe Preis Erardscher Pedalharfen, welcher häufig die Summe von 3000 und 3600 Mark erreicht, steht einer allgemeineren Verbreitung derselben hindernd im Wege.

Die Klangwirkung, die Tonfarbe dieser Art Saiteninstrumente ist, abgesehen von den Unterschieden, welche die Substanz der Saite, Metall oder Darm, bewirkt, auch besonders abhängig von der Art und Weise, auf welche die Saiten in Schwingungen versetzt werden. Es kann dies durch Reißen mit dem Finger oder einem Stift geschehen (wie bei der Harfe, Guitarre und Zither), oder durch Anschlagen mit einem hammerartigen Körper (beim Klavier, Spinett u. s. w.). Je größere Ungleichheiten die Bewegung der Saite zeigt, um so bedeutender ist die Stärke und Zahl der hohen Obertöne, der Klang wird scharf und klimpernd, und man sieht darin die Ursache, warum eine mit dem Ring des Zitherspielers gerissene Saite anders klingt, als die mit dem Finger gerissene Harfensaite. In dem ersteren Falle nämlich ist die Ecke, welche die Saite um den spitzen Stift des Ringes macht, schärfer, es laufen Bewegungswellen über die ganze Saite hin und her, welche die Ursache zahlreicher Obertöne werden. Entsprechend ist bei den klavierähnlichen Instrumenten der Fall, wo die Saiten mit einem harten, scharfkantigen metallenen Hammer geschlagen werden, der gleich wieder abspringt, sobald er die Saite berührt hat, während der Anschlag mit einem breiten, filzigen Hammerkopf so scharfe Diskontinuitäten der Saite nicht hervorbringt, sondern derselben Zeit läßt, die Bewegung auf sich auszubreiten und sofort mit ihrer ganzen Länge in Transversalschwingungen zu geraten.


Fig. 500. Pedalharfe.

An die Harfe schließt sich ein eigentümliches Saiteninstrument, welches durch den Windstoß zum Tönen gebracht wird, die sogenannte Äolsharfe. „Die Äolsharfe ist ein Instrument, das, gleich dem singenden Baume im arabischen Märchen, dem Winde ausgesetzt, für sich zu tönen anfängt. Die Töne gleichen dem sanft anschwellenden und nach und nach wieder dahinsterbenden Gesang entfernter Chöre und überhaupt mehr einem harmonischen Gaukelspiel ätherischer Wesen, als einem Werke menschlicher Kunst.“ So beschreibt Matthisson die Wirkung dieses einfachen Instruments, welches aus einem flachen, senkrecht stehenden hohlen Resonanzkasten gebildet wird, über welchem 6—12 Darmseiten nebeneinander aufgezogen und miteinander in Einklang gestimmt liegen. Wird dieses Instrument dem Winde ausgesetzt, so daß derselbe die Saiten der Länge nach berühren muß, so kommen diese in Schwingung, und dadurch, daß sie entweder den ihnen eigentümlichen Grundton angeben oder, je nach der Stärke der Erschütterung, sich in mehr oder weniger für sich schwingende Aliquotteile teilen und so eine Reihe harmonischer Partialtöne hervorbringen, entstehen in regelloser und höchst überraschender Weise jene harmonischen Wirkungen, durch die wohl jeder schon unvermutet erfreut worden ist.

Die Guitarren und Zithern repräsentieren eine ganze Klasse von Saiteninstrumenten, aus einem runden, mit Schalllöchern versehenen, resonierenden Körper bestehend, über welchen Darm- oder Metallsaiten gespannt werden, die man durch Reißen mit den Fingern oder einem Metallstifte zum Tönen bringt. An den hohlen Körper schließt sich ein längerer Hals mit den Spannwirbeln der Saiten, der zugleich als Griffbrett dient, um die Saite behufs der Hervorbringung höherer Töne, als ihr Grundton ist, durch Niederdrücken mit dem Finger verkürzen zu können. Dieses Griffbrett ist mit kleinen, niedrigen Querleisten, Bünden, versehen, welche genau die den einzelnen Tönen entsprechenden Längen angeben. Man nannte früher die ganze Klasse dieser Instrumente Lauten, und der Sage zufolge ist die nach einer Überschwemmung des Nils zurückgebliebene Schale einer Schildkröte zur Erfindung derselben Veranlassung geworden. Über das Gehäuse der Schildkröte spannten die Anwohner

Saiten, und von der Wirkung erfreut, versuchten sie später den hohlen Körper aus Holz und anderm Material nachzuahmen. Diese Erzählung deutet nicht nur darauf hin, daß die ganze Klasse dieser Instrumente aus dem Orient zu uns gekommen ist, sondern auch daß diejenigen, bei welchen der hohle Körper von birnförmiger Gestalt ist, die ältesten sein dürften. In der That waren die birnförmig gewölbten Instrumente früher bei weitem verbreiteter und noch bis zu Ende des vergangenen Jahrhunderts in Gebrauch. Ihre Saiten wurden später auch über einen Steg gespannt, wie bei den Violinen. Heute noch haben Indier, Perser und Araber zahllose Formen von Lauten und Guitarren, welche der ursprünglichen Form ziemlich nahe stehen. Die Abbildung Fig. 501 gibt uns ein Beispiel davon. Bei uns aber hat die leichtere Herstellung mehr die Instrumente mit flachem Kasten in Aufnahme gebracht. Die früher sehr große Zahl dieser Instrumente hat sich bedeutend verringert, und die meisten derselben kennen wir nur noch dem Namen nach. Die Laute, die Chorlaute, Mandora und Mandoline, die Theorbe u. s. w. gehörten alle hierher. Sie waren oft von elliptischer Gestalt und besaßen einen weichen, sanften Ton.

Die älteren Lauten hatten nur wenige Saiten; die fünfsaitige stand lange Zeit in Gebrauch; sie war gestimmt c f a d f. Später wurde diese Zahl noch oben und unten um zwei Saiten vermehrt. Nach und nach bekam die Laute mehr und bis 14 Saiten. Die höchsten, Chanterellen, führten die Melodie, die tieferen, in Doppelchören gebraucht, dienten zur harmonischen Verstärkung.

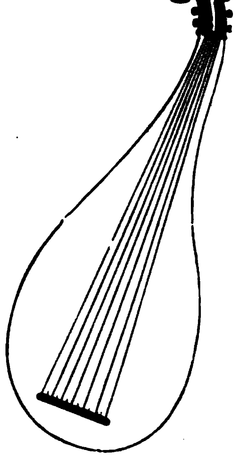


Fig. 501. Chelys der Indier.

Die verwandte **Mandoline**, Mandora, Mandurine, Pandürchen und ähnlich genannt, war besonders im südlichen Italien, Neapel und in Spanien gebräuchlich; doch wurde sie auch in Deutschland geübt, wie das Ständchen im „Don Juan“ beweist, welches von Mozart für die neapolitanische Mandoline geschrieben worden ist.

Die **Guitarre** war, wie gesagt, anfänglich nur ein Surrogat dieser Instrumente mit gewölbtem Bauch. Ihre Herstellung stellte sich billiger, und so gewann sie rasch eine ziemliche Verbreitung. Aber sie stand darum auch in geringerem Ansehen, und Prätorius, von dem sie 1627 unter dem Namen **Quinterna** oder **Chiterna** als ein italienisches Instrument aufgeführt wird, spricht ziemlich despektierlich von ihr, daß sie „nur die ziarlatini und Salt in Banco zum ‚Schrumpen‘ brauchten, dazu sie Villanellen und andre närrische Lumpenlieder sängen.“ Nach der Beschreibung hatten die damaligen Guitarren fast schon dieselbe Form und Einrichtung, wie unsre heutigen, und fünf, meist Darmsaiten.

Es scheint, als ob die Guitarre von Spanien aus, wohin sie durch die Mauren gekommen war, nach dem übrigen Europa sich verbreitet hätte. In Afrika bedienen sich manche Negerstämme ähnlicher Instrumente, wie ein solches uns Fig. 502 zeigt. In Deutschland kamen sie seit 1788, namentlich durch die Herzogin Amalie von Weimar, sehr in Gebrauch, und die meisten Instrumente dieser Art wurden von dem weimarischen Instrumentenmacher Otto angefertigt, welcher auf Anraten des Dresdner Kapellmeisters Naumann um 1797 eine sechste Saite, das tiefe E, hinzufügte, so daß die Guitarre nun E A d g h ē stimmte. Die lebhafte Aufnahme, die das Instrument anfänglich im Publikum fand, ließ aber bald wieder nach, und die Vorliebe dafür hat im Laufe der Zeit öfters gewechselt, so daß die Guitarre zu wiederholten Malen Modeinstrument geworden ist.

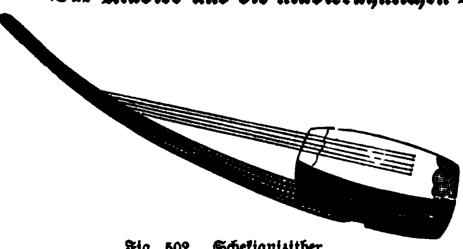
Die **Zither** ist hauptsächlich in Gebirgsgegenden gebräuchlich. Sie ist wahrscheinlich das älteste Instrument mit flachem Boden, welches wir in Deutschland haben, und scheint in Steiermark seit langer Zeit zu Hause gewesen zu sein. Von da kam sie mit den Bergleuten in den Harz und verbreitete sich allmählich fast über das ganze gebirgige Deutschland. Ihr Name ist Veranlassung gewesen, den Ursprung des Instruments mit dem der Guitarre von der alten griechischen Kithara abzuleiten, indes ist dies ein fruchtloses Unternehmen. Denn es ist notorisch, daß die Alten an ihren Saiteninstrumenten keinerlei Griffbrett kannten, vielmehr war die Kithara ein harfenähnliches Instrument, welches lediglich zur

Stimmenführung gebraucht wurde. Die Zithern dagegen, obwohl anfangs auch nur eintönig gebraucht, nähern sich eher dem Monochord und sind harmonische Instrumente, und deswegen schon kann ihre jetzige Form nicht älter sein als die Zeit, seit welcher die Harmonie erfunden worden ist.

Das Prinzip, nach welchem die Zithern gebaut sind, ist dasselbe wie bei der Guitarre. Der Körper besteht eigentlich aus einem rechtwinkeligen Dreieck, welches mit seiner längsten schiefen Seite vom Spieler abgekehrt liegt. Die Zahl der Saiten hat sich allmählich von 2 bis auf 31 vermehrt, je nachdem die harmonische Musik immer reichere Kombinationen nötig gemacht hatte. Sie liegen über ein langes Griffbrett, welches durch Bünde, wie bei der Guitarre, eingeteilt ist, und werden mit den Fingern der linken Hand niedergedrückt, während die rechte sie reißt. Die obersten Saiten, in der Regel 14, dienen zur Führung der Melodie und sind gewöhnlich aus Metalldrähten, Messing oder Stahl, hergestellt. Sie liegen dem Spieler zunächst und werden mittels eines am Daumen angesteckten Häkchenringes gerissen. Die tieferen Akkordsaiten sind einfache Darmsaiten. Beim Gebrauch legt der Spieler das Instrument entweder auf die Kniee oder vor sich auf den Tisch.

Außer diesen Schlagzithern gibt es eine eigentümliche Form, deren Saiten durch Streichen mit einem Bogen zum Tönen gebracht werden und die deshalb eine Anordnung über eine gekrümmte Fläche erhalten, sogenannte Streichzithern.

Das **Klavier und die klavierähnlichen Instrumente,** solche, deren Saiten durch einen Stoß mittels eines Hammers angeschlagen werden — datieren ihren Ursprung um mehrere Jahrhunderte zurück. Es wird immer erzählt, daß das Monochord, dessen man sich im 11. Jahrhundert schon in den Klöstern bediente, zur Erfindung die erste Veranlassung geworden sei. Guido von Arezzo soll, um einen bestimmten Ton schneller zu finden, unter die betreffende Stelle des Monochords kleine, mittels Tasten bewegliche Hölzchen angebracht haben. Indessen ist jene Annahme von durchaus keiner Bedeutung, denn die Saite des Monochords erlitt eine ganz andre Behandlung dadurch, daß sie verschiedenartig verkürzt wurde, während die Klaviere Instrumente sind, in denen jedem Tone eine eigentümliche Saite zukommt, die ein- für allemal auf diesen Ton gestimmt wird.


Fig. 502. Schetianzither.

Die Erfindung der Taste, clavis, von der die ganze lange Reihe der Instrumente den Namen erhalten hat, geht weit in das Altertum zurück. Die alten Hebräer sollen Instrumente gehabt haben, Maschrokita und Magrepha, welche mit Klaven gespielt wurden, ebenso wie die Wasserorgeln der Griechen; einzelne Nachrichten lassen auch vermuten, daß die Hebräer bereits die Saiten durch auf Tasten gesteckte Federkielstücke zum Tönen gebracht hatten. Dergleichen Nachrichten sind aber sehr unsicher, und wir können mit Sicherheit eine ähnliche Anwendung hebelförmiger Tasten, wie sie in unsern Klavierinstrumenten benutzt werden, nicht höher als bis in das 11. Jahrhundert hinauf nachweisen.

Die ältesten Instrumente dieser Art dienten nur zum Tonangeben bei dem Singen und hatten kaum den Umfang einer Oktave. Die Tasten selbst hatten damals schon die bis jetzt gebräuchlich gebliebene Form eines doppelten Hebels, dessen eines Ende mit dem Finger niedergedrückt wurde und dessen andres einen Stift oder vielmehr ein keilförmiges Blechstückchen trug, das mit seinem nach oben gerichteten breiten Ende an die Saite schlug. Diese kleinen Musikkästchen wuchsen allmählich bis zu 20 Tasten, die Stimmung war die der diatonischen Tonleiter, die halben Töne kamen erst später hinzu; im 14. Jahrhundert cis und fis, hundert Jahre darauf dis und gis; b war schon anfänglich mit vereinigt worden.

Die Ausbildung der Klavichords, wie diese Instrumente hießen und woraus später der Name Klavier entstanden ist, hielt Schritt mit der Vervollkommnung der übrigen Saiteninstrumente, und namentlich wurde das beliebte Hackebrett von großem Einfluß. Von diesem Instrumente existiert aus dem Jahre 1536 eine Abbildung, welche der Benediktinermönch Lucinius (Nachtigall) in seinem Werke über Musik gibt. Es besteht danach aus einem

viereckigen, beinahe quadratischen Kasten und war mit fünf Darmsaiten von gleicher Länge bezogen, die mittels Wirbeln gestimmt und durch kleine, mit Blech oder Leder überzogene Hämmerchen geschlagen wurden. Wie Michael Prätorius, welcher im Jahre 1619 eine Abbildung dieses Instruments gegeben, mitteilt, hatte dasselbe 16 Saiten und wurde auch mit den Fingern gerissen. Späterhin fügte man mehr Saiten hinzu und stellte diese aus Stahl her, so daß es im 18. Jahrhundert bis zu drei Oktaven Umfang erhielt und unter dem Namen Cimbal oder persisches Hackebrett in ziemlichem Ansehen stand. Man trifft selbst jetzt noch zuweilen das gänzlich veraltete Hackebrett, obwohl seine Erscheinung in unsern Gegenden eine ziemlich seltene geworden ist, so daß sich desselben nur noch Bettler und Marktmusikanten bedienen. Das Hackebrett selbst scheint der direkte Nachkomme eines altgriechischen Instruments, des Simikion oder, wie es später genannt wurde, des Simikon, zu sein, welches schon im 2. Jahrhundert n. Chr. erwähnt wird. Nach der Beschreibung des Grammatikers Pollux von Naukrates bestand dasselbe aus einem Kasten, dessen Deckel mit 35 Saiten bespannt war, welche mit Klöppeln geschlagen wurden. Im Mittelalter vermehrte sich die Zahl der Saiten.

Neben dem Hackebrett mag das Spinett als ein Vorläufer unsres Pianoforte angesehen werden. Dasselbe kommt schon im 14. Jahrhundert vor und hat die Form eines unregelmäßigen Vierecks. Es bildete ebenfalls einen viereckigen Kasten, der der Länge nach mit Saiten bespannt war. Die Töne wurden mittels Anschlags durch gabelartige Tasten, Palmulä genannt, an deren hinterem Ende sich Docken befanden, hervorgebracht. Diese Docken versah man später mit spitzen Raben- oder Straußenfederzungen, welche die Saiten nicht schlugen, sondern pizzicato rissen; davon erhielt das Instrument, welches auch Clavi-Cimbalum genannt wurde, den Namen Spinett (spinula, die Spitze).

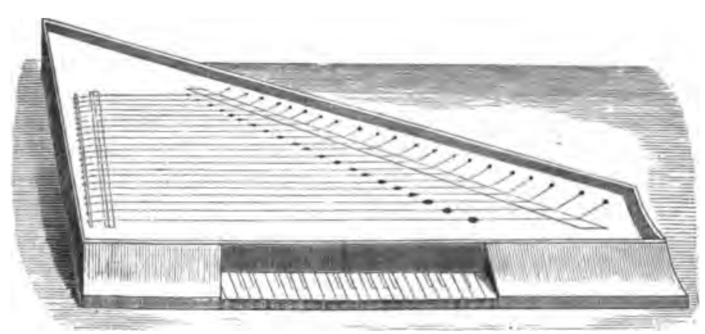


Fig. 503. Clavi-Cimbalum aus dem Jahre 1520.

Im 17. und 18. Jahrhundert war das Spinett sehr gebräuchlich und hatte einen Umfang bis zu vier Oktaven. In den verschiedenen Ländern auch verschieden genannt, hieß es in Deutschland auch Symphonia oder Magadis, Pektis und Virginal. Sein Ton muß indes nicht sehr entzückend gewesen sein, denn es heißt in dem 1791 erschienenen Buche „Der musikalische Dichter“ von ihm: „Es geht kindisch.“

Fig. 503 gibt uns einen Begriff, wie die alten Klaviere beschaffen waren. Es gab bei denselben nicht allemal für jeden Ton eine eigne Saite, sondern der Billigkeit wegen ließ man oft eine und dieselbe Saite für zwei Töne dienen, was bei dem ursprünglichen Mechanismus, wo der Anschlagstift, die Tangente, mit dem Tastenhebel ein festverbundenes Ganzes ausmacht, zur Not angeht. Die Tangente bildet dann, wenn die Taste fest niedergedrückt wird, den eigentlichen Steg der Saite, und es schwingt nur der Teil, welcher darüber hinaus liegt: der Ton muß höher sein, als wenn die Saite in ihrer ganzen Länge schwingt. Ein rasches, kurzes Anschlagen des Stiftes gibt also den Ton der ganzen Saite, ein langes Niederdrücken den der verkürzten, und durch eine passende Stellung des Stiftes konnte man den tiefsten Ton um das Intervall eines halben Tones in die Höhe treiben. Klaviere mit dieser Einrichtung hießen gebundene; bundfreie waren solche, bei denen jeder Ton seine besondere Saite hatte. Die letzteren sind wohl die älteren und die gebundenen aus diesen nur als ein Surrogat entstanden.

Wer sich eine Vorstellung machen kann, wie gebundene Klaviere geklungen haben, der wird sich des innigsten Dankes gegen das Schicksal, welches uns von diesen Instrumenten befreite, nicht enthalten.

Die verschiedene Länge der Saiten führte sehr zeitig auf die Form, welche den Namen Flügel erhielt, und Prätorius bildet schon ein solches Instrument ab, welches in seiner Gestalt bereits volle Übereinstimmung mit unsern heutigen Flügeln zeigt. Der Name Schweinskopf, den das Instrument ebenfalls führt, stammt von seiner spitzen Form, welche Fig. 503 zur Anschauung bringt. Der Flügel scheint im 16. Jahrhundert ein ziemlich allgemein bekanntes Instrument gewesen zu sein. Der Instrumentenmacher Domenico Pesaro fertigte ein solches mit drei Klanggeschlechtern.

Es gab Instrumente, deren einzelne Töne durch den gleichzeitigen Anschlag von vier Saiten (Chören) hervorgebracht wurden (vierchörig). Eine dieser vier Saiten wurde dann bisweilen eine Oktave tiefer als der Grundton gestimmt und eine zweite um die Quinte höher. Der Anschlag geschah wie bei dem Spinett durch an Springer oder Docken gesteckte Rabenkiele, späterhin mit „freilich sehr kostbaren goldenen Blechlein". Die Anwendung der Rabenfeder war übrigens bis zu Ende des vorigen Jahrhunderts bei den klavierähnlichen Instrumenten in Gebrauch, und Zelter erzählt selbst noch, wie er einen Flügel auf dem Lande neu „bekielt" habe (1790). Um das Nachklingen der Saiten zu vermeiden, wurden dieselben durch eingeflochtene Tuchstreifen abgedämpft, eine Methode, welche allerdings nur bei Instrumenten von sehr kurzem Tone genügt.

Eine merkwürdige Abweichung von diesem Flügel war das Nürnberger Hackebrett, in seiner äußeren Gestalt dem vorigen ähnlich, ebenfalls mit Saiten, und zwar mit Darmsaiten bezogen, in der Art der Tonerregung aber von jenem ganz verschieden; denn die Saiten wurden nicht durch Anschlag mittels Docken in Schwingung versetzt, sondern an jede Saite ließ sich ein kleines, sich drehendes Rädchen andrücken, und die andauernde Friktion gab einen Klang von geigenartiger Färbung. Die Bewegung der kleinen Rädchen wurde durch ein größeres Schwungrad unterhalten, welches außerhalb des Kastens lag und mit dem Fuße getreten wurde; das Andrücken der kleinen Rädchen aber geschah durch Niederdrücken der Tasten. Das Instrument, 1610 von Hans Haydn in Nürnberg erfunden, war noch zu Anfang dieses Jahrhunderts in Gebrauch und mancherlei Verbesserungen wurden daran vorgenommen. Die Namen Gambenflügel, Geigenklavier, Zimbel u. s. w. bedeuten alle ein und dasselbe. Übrigens ist zu bemerken, daß die Terminologie der älteren Instrumentenbauer gerade auf dem Gebiete der klavierähnlichen Instrumente eine sehr reiche, freilich auch eine sehr unsichere war. Die verschiedenen Tonwerkzeuge wurden mannigfach verändert, durch neue Erfindungen und Zuthaten in ihrer Einrichtung verbessert, natürlich auch mit neuen Namen versehen, und es ließe sich eine ganze Menge Namen von Instrumentenmachern aufsuchen, deren jeder Anspruch auf irgend eine neue Erfindung machen könnte. Freilich bestehen dieselben im Grunde meist nur aus großen Kleinigkeiten, und es wäre Raumverschwendung, eine Aufzählung derselben versuchen zu wollen.

Dasjenige ältere Instrument, welches in specie den Namen Klavier erhielt, nebenbei aber auch Clavecin oder Klavichord hieß und mit Rabenkielen gerissen wurde, hatte zu Anfang des 17. Jahrhunderts einen Umfang bis zu $4^1/_3$ Oktaven. Die Halbtöne wurden durch Obertasten, die diatonische Tonleiter durch Untertasten angegeben, und um das Instrument für verschiedene Tonarten zu stimmen, verfolgte man seit dem tüchtigen Organisten Andreas Werkmeister (1698) den noch heute üblichen Weg der Quintenfortschreitung, indem man die einzelnen Intervalle etwas tiefer schweben ließ. Mit unsern heutigen Instrumenten dürfen wir aber das alte Klavier weder in bezug auf Fülle und Schönheit des Tones noch in bezug auf Größe und Ausstattung vergleichen. Hatte man auch (1768 Pascal Taskin in Paris) die wenig dauerhaften Rabenkiele an den Tangenten durch kleine Stückchen Ochsenhaut ersetzt, so war doch überhaupt auf diesem Wege eine weitergehende Tonvervollkommnung kaum zu erreichen. Die Klaviere waren kleine, dünne Toninstrumente, die unserm Geschmacke in keiner Weise mehr entsprechen würden. Mozart erzählt noch, daß bei einem Besuche in einem italienischen Kloster ihm das Klavier von den Mönchen fortwährend nachgetragen worden sei, damit man überall und in jedem Augenblick sich an seinem Spiele habe erfreuen können. Der Preis war durchschnittlich nicht höher als 90 Mark. Dies war aber die Ursache, daß das Instrument eine große Verbreitung gewann, und der heutigen Klage: „in jedem Haus ein Klimperkasten", begegnen wir schon vor fast hundert Jahren bei Schubart, der in seiner „Ästhetik der Tonkunst" sagt: „Klavier spielt, schlägt, trommelt

und dudelt alles, der Edle und Unedle, der Stümper und Kraftmann, Frau, Mann, Bube, Mädchen; es gehört mit zur guten Erziehung.“

Die Hauptübelstände, welche man bei allen diesen Instrumenten nicht umgehen konnte, waren, daß sowohl eine Abstufung des Tones vom stärkeren zum schwächeren als auch eine genügende Dämpfung, welche das Nachklingen der Saiten verhindert, nicht hervorgebracht werden konnten. In ersterer Hinsicht erlaubte zwar das Hackebrett, welches mittels Hämmerchen, die man in der Hand hielt, geschlagen wurde, einige Veränderungen, und diese führten den Paduaner Bartolomeo Christofali auf den Gedanken, die Eigentümlichkeit des Hackebretts mit der des Klaviers zu vereinigen und die Hämmer mit Tasten zu verbinden, durch welche sie an die Saiten geschnellt werden. Diese Trennung des Anschlägers von dem Hebelkörper der Taste ist das wesentlich Unterscheidende der Pianoforte von den Klavieren, und Christofali, der diesen Gedanken zuerst durchführte, erreichte mit seinem Instrumente in der That die gewünschten Abstufungen in der Stärke des Tones, welche dem neuen Instrumente zu seinem eigentümlichen Namen verhalf. Da seine neue Mechanik bereits 1711 durch Abbildung und Beschreibung in Druck bekannt gemacht wurde, alle ähnlichen aber um vieles später erst erschienen, so müssen wir sie als das erste Zeugnis der Erfindung unsrer heutigen eigentümlichen Pianoforte ansehen.

Ob der oft citierte Organist Joh. Gottl. Schröter, gebürtig aus Hohenstein in Sachsen, welcher 1721 am Dresdner Hofe zwei Modelle vorzeigte, in denen ebenfalls die bei dem einen von unten, bei dem andern von oben an die Saiten schlagenden Hämmer durch Tasten in Bewegung gesetzt wurden, vielleicht die Idee seiner nach eignem Geständnis erst im Jahre 1717 gemachten Erfindung einer Kenntnis der Christofalischen Versuche verdankte, über welche die Berichte zu damaliger Zeit bereits aus dem Italienischen übersetzt worden waren, oder ob er, was ebenso gut möglich ist, selbständig auf den Gedanken kam, ist natürlich jetzt schwer nachzuweisen. Für die letztere Annahme spricht gleichwohl der viel unvollkommnere Mechanismus, dessen er sich bei seinen Modellen bediente.

Ein Instrument nach den Schröterschen Modellen soll nicht gebaut worden sein, da Schröter selbst die Mittel dazu fehlten und der sächsische Hof sich der Sache nicht besonders annahm. Dagegen war das Christofalische Pianoforte bereits im Jahre 1711 wirklich zur Ausführung gebracht worden uud besaß als wichtigste Hauptbestandteile bereits doppelte Hebel, Auslösung und für jeden Hammer einen freien Dämpfer. Diese ausgezeichnet erscheinende Mechanik steht denn auch über denjenigen Versuchen, die von Franzosen in den darauf folgenden Jahren gemacht wurden und welche selbst jetzt noch häufig erwähnt werden, um die Priorität der Erfindung für Frankreich in Beschlag zu nehmen. In Deutschland wurde das Hammerklavier wirklich ausgeführt erst im Jahre 1728 durch den berühmten Orgelbauer Silbermann, welcher die Schrötersche Erfindung sich angeeignet und in mancher Art verändert hatte. Indes wurden die Pianoforte der damaligen Zeit bei uns selbst von feingebildeten Musikern, wie Sebastian Bach, nicht mit dem Entzücken aufgenommen, welches die italienischen Instrumente erregten. Das Instrument war schwer zu spielen und in der Höhe schwach am Ton. Erst durch den scharfsinnigen Orgelbauer Joh. Andr. Stein zu Augsburg, einen Schüler Silbermanns, wurden die Vorzüge so ans Licht gebracht, daß die Hämmermechanik allmählich den Flügel mit bekielten Docken verdrängte. Von der Christofalischen Mechanik war die Schrötersche Einrichtung, welche Stein zu Grunde legte, insofern verschieden, als die Achse des Hammers in einer kleinen, federnden Gabel von Messing stand, welche in das Ende der Taste leichtbeweglich geschraubt wurde, so daß der Hammer von der Taste selbst getragen wurde, während bei Christofali der Hammer von der Taste getrennt war. Doch davon später.

Die Steinschen Instrumente waren dreichörig und wurden für damalige Verhältnisse sehr hoch bezahlt. Für eins, welches nach Mainz geliefert wurde, erhielt der Erbauer z. B. 100 Louisdor und ein Fäßchen Rheinwein. Dieser verdiente Mann starb 1792 und hinterließ zwei Kinder, Andreas und Nanette, welche er beide in seiner Kunst unterrichtet hatte, so daß die Tochter wie ein Mann mit Hobel und Säge hantierte. In der Folge heiratete Nanette den Klavierlehrer Streicher in Wien und errichtete hier eine Werkstätte für Klavierbau, in welcher späterhin auch ihr Mann thätig mit Anteil nahm. Die daraus hervorgegangenen Flügel, die „Streicher“, galten mit Recht damals für die besten und

begründeten hauptsächlich den guten Ruf, dessen sich die Wiener Instrumente lange Zeit fast ausschließlich in Deutschland erfreuten.

Die Zeit vom ersten Auftreten der Pianoforte bis in die zwanziger Jahre unsres Jahrhunderts war ziemlich fruchtbar an allerhand Erfindungen und Ideen in bezug auf Vervollkommnung dieses Musikinstruments, die jetzt größtenteils dem Bereich der Kuriositäten angehören, wo nicht der Vergessenheit anheimgefallen sind. Andreas Stein verband Flügel und Pianoforte zu einem Instrumente, baute auch Flügel mit Flötenzug; ein Mechanikus Hohlfeld in Berlin baute 1757 ein Geigenklavier; es wurden Instrumente konstruiert mit zwei und drei Klaviaturen und mit erstaunlich viel Zügen und Veränderungen, die für einzelne Fälle auf 100, ja auf 250 angegeben werden. Math. Müllers in Wien Dittanaklasis war ein aufrecht stehendes Instrument, das auf beiden Seiten eine Klaviatur und einen Saitenbezug hatte. Joh. Jak. Schnell versuchte gegen 1790 nicht ohne Glück, die Saiten des Pianoforte durch Windströme, die durch Messingröhrchen herzugeleitet wurden, zum Erklingen zu bringen. Sein Instrument, Anemochord genannt, soll eine äußerst angenehme Musik gegeben haben, und er erregte damit in Paris außerordentliche Bewunderung. Es eignete sich natürlich nur für Vorträge mit langsamer gebundener Bewegung und zur Gesangbegleitung. Auch die Versöhnung zwischen dem Alten und Neuen wurde von einem Künstler angestrebt, indem er Instrumente baute, an denen sich nach Belieben eine Pianoforte- und eine Klavichordmechanik durch einen Fußzug in Wirksamkeit setzen ließ.

Solche Nebensachen haben sich am Pianoforte ziemlich lange erhalten, und man trifft bisweilen noch jetzt auf alte Instrumente, an denen die ganze Janitscharenmusik mit Pauke, Becken und Glöckchen, der Fagottzug, der Harfenzug u. s. w. in Bewegung gesetzt werden kann. In neuerer Zeit befleißigt man sich einer größeren Einfachheit und sucht unter Weglassung von dergleichen Spielereien den Wert der Instrumente mehr in der Dauerhaftigkeit, Schönheit und Stärke des Tones und hauptsächlich in der Vervollkommnung der Mechanik in Hinsicht auf möglichst bequeme und angenehme Spielart. Das Pianoforte hat in der Regel nur zwei Züge, den einen zum Heben der Dämpfer, den andern zur Verschiebung der Mechanik, wodurch die Hämmer nur eine oder zwei Saiten der dreisaitigen Chöre treffen und damit einen schwächeren Ton erzeugen.

Nach England kam die Schröter-Silbermannsche Mechanik durch einen Arbeiter aus dem Etablissement, welches der ältere der beiden Brüder, Andreas Silbermann, in Straßburg zu Anfang des vorigen Jahrhunderts begründet hatte und das seine vier Söhne bis 1753 fortsetzten. Indessen konnte sie keine große Ausbreitung finden. Erst als der Schweizer Tschudy sich in London niederließ und mit dem jungen Schotten Broadwood vereinigte, wurden bessere Erfolge erzielt.

Das Bedürfnis, den Hammer, nachdem er die Saite berührt hatte, gleich wieder zurückfallen zu lassen, führte auf die Erfindung der Auslösung, welche von Stodard, einem Schüler Broadwoods, und dem deutschen Klaviermacher Becker gemacht wurde. Sie bestand in einer Vorrichtung, welche die Stoßzunge unter der Hammernase herausschiebt, wenn der Hammerkopf nahe an die Saite geschoben wird, und so dem von der Stoßzunge befreiten Hammer das Zurückfallen erleichtert. Diese Zuthat zu der Hammermechanik ist eigentlich der bedeutendste Fortschritt, welcher seit Christofali gemacht worden ist. Die Ausbildung der neueren Klaviertechnik verlangte aber außerdem Instrumente, bei denen derselbe Ton in raschester Aufeinanderfolge wiederholt zum Anschlag gebracht werden konnte. Dies war nur zu erreichen, wenn der Hammer in jedem beliebigen Momente seines Zurückfalles von der Stoßzunge gefaßt und wieder gegen die Saite geschnellt werden konnte, so daß, wenn der Finger von der niedergedrückten Taste nur wenig sich erhob und die Taste aufs neue niederdrückte, der Ton augenblicklich und sicher wieder zum Vorschein kam. Diese neue Erfindung, Repetition, wurde von dem Straßburger Instrumentenmacher Sebastian Ehrhardt ausgeführt, der, wie wir schon früher erwähnten, nach Paris übergesiedelt, als „Erard“ seinen Namen durch die vortrefflichen Instrumente ruhmvoll bekannt machte.

Die Verbesserungen, welche das Pianoforte in der Neuzeit erfahren hat, sind nicht mehr eingreifender Art gewesen. Der Hauptsache nach ist dieses musikalische Instrument vor einem Vierteljahrhundert schon so vollendet gewesen, daß die Fortschritte sich mehr auf

die Verfeinerung besonderer Einzelheiten, auf Vervollkommnung der technischen Herstellungsweise, auf bessere Zubereitung der Materialien, auf gesichertere und billigere Ausführung, wie sie der Maschinenbetrieb seiner Fabrikation erheischt, als auf durchgreifende Veränderungen im Wesen der Konstruktion sich beziehen konnten. Broadwood in London, Erard, Pleyel in Paris, Bösendorfer in Wien, Steinway in New York, Blüthner in Leipzig, Bechstein in Berlin, andrer nicht zu gedenken. Das sind Namen, welche sich rühmlich mit der Geschichte des Pianofortebaues verknüpfen, wenn es auch nicht jedem vergönnt gewesen ist, durch epochemachende Erfindungen in derselben zu glänzen.

Auf die Förderung, die der eine oder der andre nach gewissen Richtungen ausgeübt hat, werden wir noch zu sprechen kommen bei der näheren Betrachtung der Einrichtung und der Herstellungsweise des Pianofortes. Der Pianofortebau ist Gegenstand der Großindustrie geworden, bei seiner Herstellung handelt es sich um Massen. Daraus ergibt sich, daß manche Erfindung an sich nicht sehr besonders bedeutungsvoll zu erscheinen braucht, daß sie für die Theorie des Pianofortes sogar ganz unwesentlich zu sein und doch eine große wirtschaftliche Bedeutung besitzen kann. Denn die Zahl der alljährlich den großen Fabriken entströmenden Instrumente ist Legion, und wenn man bedenkt, daß die Lebensdauer eines solchen Werkes doch eine ziemlich lange ist, so muß man sich mit Recht verwundern, wo all die Produktion Aufnahme findet. Mittelpunkte dieser Produktion sind die Städte London, Paris, New York, Wien, bei uns Leipzig, Berlin, Stuttgart, Dresden, Breslau, an diesen Punkten haben sich große Fabriken entwickelt, in denen die Arbeitsteilung bis ins kleinste durchgeführt ist, so daß der eigentliche Instrumentenmacher kaum mehr einen der Bestandteile, die er zu einem Pianoforte braucht, sich selber herstellt, da ihm dieselben von besonders darauf eingerichteten Fabriken oder Arbeitern geliefert werden und seine eigentliche Fertigkeit zumeist in der Auswahl, in der passenden Zusammenstellung, der sorgfältigen Verbindung und schließlich in der geschmackvollen Ausgleichung besteht.

Es dürfte aber unsern Lesern von Interesse sein, nun auch einiges über die innere Einrichtung desjenigen Instruments zu erfahren, welches mehr als jedes andre zur Pflege und zur Ausbreitung guter und schlechter Musik beiträgt, das eine Litteratur hervorgerufen hat, auf die sich andre großartige Geschäftszweige: Musikalienhandel, Notenstecherei, Druckerei u. s. w., im wesentlichen mit stützen, und dadurch zu einem kulturhistorischen Gegenstande geworden ist.

Der Klavierbau. Über die Herstellung des äußeren Gehäuses, des Kastens oder Körpers, können wir sehr kurz hinweggehen, weil dieselbe ausschließlich Schreinerarbeit ist und auf die physikalische Natur des Tones nur einen geringen Einfluß hat. Der Form des Gehäuses nach unterscheiden wir hauptsächlich drei Arten von Pianoforteinstrumenten: Flügel, dem bekannten in die Länge geschweiften Körper, tafelförmige Klaviere und aufrecht stehende oder Pianinos; bei allen treten immer wieder dieselben Hauptbestandteile auf. Die Verschiedenartigkeit der äußeren Gestalt bedingt zwar verschiedenartige Anordnung der inneren und damit schließlich auch für jede Klasse eigenartige Effekte. Indessen ist es auf bewundernswerte Weise gelungen, die Vorteile, welche man früher der Flügelform als der allein den musikalischen Anforderungen Rechnung tragenden Form zuschreiben mußte, auch den jetzt mehr kompendiösen Instrumenten, wie Stutzflügel und Pianino, zugängig zu machen. Die Pianinos haben deshalb auch in der Neuzeit große Beliebtheit erlangt und fast so gut wie ganz die Tafelklaviere bei uns verdrängt.

Der Rahmen oder die Zarge, in welche alle Saiten eingespannt werden, hat infolge der großen Spannung jeder einzelnen einen bedeutenden Zug auszuhalten, der bei dreichörigen Konzertflügeln ungefähr auf gegen 300 Zentner berechnet ist. Eine solche Kraft strebt die Anhängeplatte und den Stimmstock, in denen die Befestigungspunkte der Saiten liegen, einander zu nähern, die beiden Enden des Gerähmes zusammenzuziehen, und muß durch den Widerstand desselben unablässig im Zaume gehalten werden, denn eine Nachgiebigkeit, nur um ein Haar breit, würde schon eine deutlich hörbare Verstimmung ergeben. Das Halten der Stimmung ist aber bekanntlich einer der ersten Ansprüche, die an ein gutes Instrument gemacht werden müssen. Ausgesuchte und völlig trockene Hölzer verschiedener Art sind deshalb auch das Hauptmaterial zu diesem Grundbau. Man läßt sie mehrere

Jahre an der Luft lagern, ehe man sie verwendet. Gewisse harte Hölzer, welche nie gehörig austrocknen, solange sie in Form von Stämmen oder dicken Bohlen belassen werden, zersägt man in dünnere Bretter oder in solche Stücke, daß sie für ihren künftigen Zweck schon einigermaßen vorgeformt sind. Auch die völlig lufttrockenen Hölzer kommen vor der Verwendung häufig noch in die Schwitzkammer, wo ihnen durch künstliche Wärme der letzte Rest von Feuchtigkeit entzogen wird. Zur Verarbeitung kommen von harten Hölzern gewöhnlich Eichen, Buchen, Ahorn, von weichen Fichten und Tannen. Oft werden zwei oder drei Holzarten miteinander verbunden. Das Gerähme wird nämlich nicht aus möglichst großen Stücken, sondern aus mehreren dünneren Platten zusammengefügt, wobei man öfters harte und weiche Holzschichten abwechseln läßt. Das Bindemittel zwischen all diesen Bestandteilen ist, außer sorgfältiger Verzapfung in den Ecken, guter Leim, der hierdurch selbst zu einem wichtigen Massebestandteil wird, indem es seine Aufgabe ist, die sämtlichen einzelnen Stücke zu einem Ganzen untrennbar zu vereinigen.

Beim Zusammenleimen werden auch die Holzstücke warm gemacht und das Ganze wird dann mit Schraubenzwingen oder auf andre Art bis nach erfolgter Trocknung fest zusammengehalten.

Indem man im Laufe der Zeit den Saitenbezug immer stärker machte und also eine immer höhere Widerstandskraft des Rahmens in Anspruch nahm, mußte man auch für eine entsprechende Verstärkung desselben sorgen. Außer den herkömmlichen Längs- und Querstreifen von Holz, womit die Lichtung des Rahmens ausgestakt wird, nahm man daher noch eiserne Spreizen hinzu, anfangs nur eine oder zwei, dann allmählich mehrere, bis in weiterer Entwickelung dem Grundbau der Instrumente immer mehr Eisen einverleibt wurde. Es werden nicht nur eiserne Hauptspreizen angebracht, sondern die Anhängestifte für die Saiten stehen auch auf einer, der geschweiften Zarge aufgeschraubten eisernen Platte. Man hat auch Rahmen, Anhängeleiste und Zwischenbarren ganz als ein einziges Stück gegossen und damit allerdings die größte Widerstandskraft erreicht. Indessen ist die massenhafte Eisenverarbeitung in den Instrumenten von keinem günstigen Einfluß auf den Ton, der dadurch leicht hart und spitz wird.

Die beiden Bauarten, die Wiener und die sogenannte englische, d. h. die im Auslande größtenteils von Deutschen fortgebildete, unterscheiden sich schon in dem Kastenbau, in der Auswahl der Holzarten, Ausarbeitung und Zusammenfügung der einzelnen Bestandteile sehr voneinander, die letztere ist bei sauberer Arbeit in ihren Gliedern dünner oder schlanker, ohne deshalb weniger widerstandskräftig zu sein.

Was die Tafelklaviere betrifft, so sind bei ihnen die Verhältnisse weniger günstig für die Sicherung der Saitenspannung, da hier die Klaviatur von der Seite her tief in den Körper eintritt und den Raum wegnimmt, welcher für Gegenstützen benutzt werden könnte. Es muß also der Boden des Kastens den größten Teil des Widerstandes gegen den Saitenzug leisten, der daher auch mit besonderer Sorgfalt sowohl in der Arbeit als in der Auswahl des Materials herzustellen ist. Nach der besten Regel leimt man ihn aus drei übereinander gelegten Holztafeln zusammen, deren innerste und stärkste von Eichenholz ist und mit ihren Fasern in derselben Richtung läuft wie die schräg gespannten Saiten; die beiden äußeren sind von Tannenholz mit geradeaus gerichteten Fasern.

Man hat bekanntlich von tafelförmigen Instrumenten vorder- und hinterstimmige. Sie unterscheiden sich durch die verschiedene Lage des Saitenbezuges und also auch des Stimmstockes, und hierdurch sind die übrigen Modifikationen im Zargenbau und in der Tastenlänge bedingt. Bei dem vorderstimmigen (d. h. vorn zu stimmenden) Instrument liegt der Stimmstock mit seiner angeleimten Widerlage, dem Keil, gleich vorn hinter den Tasten etwas schräg, damit die Saiten, welche von demselben nach der rechts befindlichen Anhängeplatte gehen, nebeneinander Platz finden; der Bezug liegt mithin so, daß die Saiten ungefähr in die linke untere und rechte obere Ecke hineinsehen. Der Stimmstock, unter allen Umständen ein solider Körper aus hartem Holz, kann hier nur auf den beiden Seitenwangen des Kastens Auflage finden und liegt, da er die Klaviatur unter sich durchlassen muß, seiner ganzen Länge nach hohl; er bekommt daher eine geeignete Eisenstrebe zur Unterstützung.

Beim hinterstimmigen Instrument liegt der Stimmstock hinten, seiner ganzen Länge nach auf das Zargenholz fest aufgeleimt; diese Anordnung läßt einen größeren Raum für den Saitenbezug, welcher vom Stimmstock nach links herunterläuft.

Man hat auch (Blüthner in Leipzig) dem Flügelkasten dadurch eine symmetrische Gestalt gegeben, daß man ihn an der einen Längsseite nicht gerade verlaufen läßt, sondern ebenfalls schweift und die Mittellinie zwei gleichgeformte Hälften abschneidet. Die symmetrische Form aber ist nicht von so großem Wert, als daß man ihr zu Gefallen sich irgend wie Zwang anthun sollte.

Die Grundlage des Klaviers ist der Resonanzboden. Er ist es, der dem Instrument erst die Stimme verleiht, denn eine gespannte Saite, die in ihrer Nähe keine Körper hat, welche mitklingen können, schwingt, wenn sie angeschlagen wird, wohl fürs Auge, aber das Ohr vernimmt wenig oder nichts. Erst wenn die Saitenschwingungen mittels des Stegs auf den Resonanzboden fortgepflanzt und die Teilchen desselben dadurch zum Mitschwingen angeregt werden, entsteht ein hörbarer, klingender Ton. Es eignet sich aber nicht jedes Brettstückchen zu einem Resonanzboden; Bearbeitung und Auswahl des Holzes verlangen vielmehr die größte Sorgfalt.

Der Resonanz- oder Klangboden bestand aus einer sich nach der Form des Instruments und des Saitenbezugs richtenden Platte von dünnen Holztafeln, die oberhalb ganz eben, auf der Unterseite aber von einer Anzahl angeleimter, verschiedentlich gerichteter Holzleisten unterstützt und zusammengehalten werden. Oberhalb ist nur eine Leiste aus recht festem Holz so aufgesetzt, daß sie in die Nähe der Anhängeleiste zu liegen kommt und einen ähnlichen geschwungenen Verlauf hat wie diese. Das ist der Steg, über welchen die gespannten Saiten so hinlaufen, daß sie fest auf ihm anliegen, also einen Teil ihres Druckes auf ihn abgeben. Als Material zum Klangboden dient am häufigsten ausgesuchtes harzfreies Fichtenholz; indessen lassen sich auch andre Hölzer, wie Zedern, Lärchen, Tannen, Kiefern, dazu verwenden. Metalle, namentlich Stahl- und Kupferbleche, ferner gespanntes Pergament, sind auch versucht worden, leisten aber nicht so viel wie Holzböden und sind dabei weit teurer. Die Metallplatten erzeugen grelle, scharfe Klänge. Man nimmt zu den Resonanzplatten schlichte Hölzer mit geradlinig verlaufenden Adern oder Jahren. Ob diese Jahre in dem fertigen Stück mit den Saiten gleichgerichtet, oder querüber oder endlich schräg verlaufen, was alles in der Praxis vorkommt, scheint für die Qualität des Tones von keinem Einfluß zu sein; die Hauptsache ist, ob das Holz gedrungene Jahre hat, wodurch zugleich seine größere Schwere und Härte angedeutet ist, oder ob es offener, breiter gestreift und deshalb weicher ist. Die erstere Gattung ist geeignet, unter die höheren Saiten gelegt zu werden, die andre kommt in die Region des Basses. Außerdem macht man die Bodenfläche für den Baß dünner, für die höheren Lagen dicker. Ein dünnes Brettchen von weicher Struktur läßt selbst beim Anklopfen schon einen tieferen Ton vernehmen als ein dickeres und härteres. Für die Stärke des Resonanzbodens ist, außerdem daß sie in demselben Instrument vom Diskant nach dem Basse hin abnimmt, noch maßgebend der stärkere oder schwächere Bezug und die Größe des Instruments, so daß Flügel jederzeit stärkere Böden haben als die kleineren Sorten. Alle gebräuchlichen Stärken liegen etwa innerhalb $^3/_8$ und 1 cm. Die unterhalb angebrachten Rippen, etwa 1—3 cm dicke Leistchen von Resonanzbodenholz, sollen dem Boden die erforderliche Starrheit und an allen Stellen gleichmäßige Elastizität geben. Über ihre Zahl und Richtung gibt es keine feste Regel; bei der letzteren sieht man nur darauf, daß die Jahre der Resonanztafeln möglichst gekreuzt werden. Sind diese über die Quere des Bodens gelegt, so laufen demnach die Leisten über die Länge; man braucht in diesem Falle nur wenige, da die einzelnen Tafelenden dann ohnehin an der Zarge mehr Auflagepunkte haben.

Die Wirksamkeit des Resonanzbodens theoretisch ganz klar zu legen, ist noch nicht gelungen. Es kommen zu viele einzelne Faktoren zusammen, deren physikalisches Verhalten zu bestimmen die größten Schwierigkeiten bietet. Schon der Umstand, daß wir es in dem gewachsenen Holze nicht mit einem seiner Struktur nach gleichmäßigen Materiale zu thun haben, erschwert die Aufgabe wesentlich, und es ist für die Praxis des Klavierbaues daher die Erfahrung bisher immer noch die einzige Lehrmeisterin geblieben.

Man hat sich bis in die letzte Zeit damit begnügt, die Form des Resonanzbodens und überhaupt alles dessen, was zum eigentlichen Korpus der Klaviere gehört, als etwas durch die Empirie Gegebenes anzusehen, an dem man nicht zu rütteln wagte, und alle Vervollkommnungsbestrebungen nur auf Auswahl des Materials und auf Sorgfalt der Herstellung etwa gerichtet, während die Mechanik unzählige Veränderungen erfahren hat. Jetzt dagegen scheint man die Raffinierung der Mechanik vor der Hand als genügend anzusehen und mehr den eigentlich tongebenden Bestandteilen des Instruments die Aufmerksamkeit zuzuwenden. Auf der Wiener Ausstellung von 1873 erregte ein Flügel mit gewölbtem Resonanzboden, sogenanntem Celloboden, der nach dieser Richtung hin zum erstenmal ein neues Prinzip in Ausführung gebracht zeigte, großes Interesse. Die Erfindung rührt von dem Wiener Klavierfabrikanten Friedrich Ehrbar her und ist schon von ihm gelegentlich der Londoner Ausstellung von 1862 besprochen worden. Nach dieser Idee ist denn auch von Beregszaszy in Pest 1871 ein gewölbter Resonanzboden in London, jedoch ohne Klavier, ausgestellt worden; der Beweis der praktischen Bedeutung dieses Gedankens ist jedoch neuerdings erst vom ursprünglichen Erfinder geliefert worden. Die Klangschönheit des Ehrbarschen Flügels wird von dem bekannten Musikschriftsteller Hanslick auf das höchste gerühmt; wenn, wie nicht unmöglich ist, die Zeit auf derartige Instrumente wie auf die Geigen einen verbessernden Einfluß ausübt, so wird damit eine neue Epoche der Klaviere beginnen.

Das Holz für Resonanzböden, Rippen und Klaviaturen wird von besonderen Geschäftsleuten in holzreichen Gegenden, vorzüglich im Böhmerwalde, Bayrischen Walde, Oberbayern u. s. w. ausgesucht, mit Säge und Hobel ziemlich vorgearbeitet und so in Brettern und Bunden in den Handel gebracht. Um das für den Instrumentenbau verwendete Holz dauernd gegen Temperatureinflüsse aller Art zu schützen, hat man in neuerer Zeit verschiedene Präparationsmittel in Anwendung gebracht; insbesondere mag hier eines neuerdings in Deutschland (1881) patentierten Verfahrens gedacht sein, welches durch eine eigenartige Behandlung, nämlich durch Einwirkung des auf elektrischem Wege ozonisierten und erhitzten Sauerstoffs, das Resonanzholz verhärten, hierdurch widerstandsfähiger machen und mit den Vorzügen alten, lang gelagerten Holzes ausstatten soll.

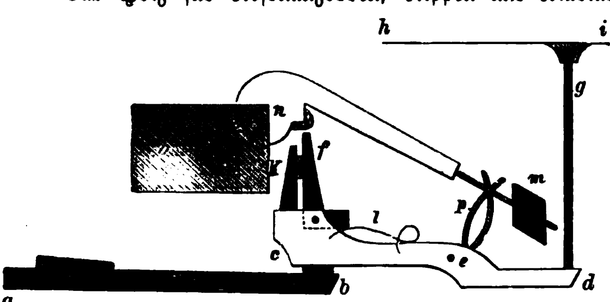


Fig. 504. Christofalis Hammermechanik.

Die Mechanik. Die beweglichen Teile, das zum Anschlagen der Saiten dienende Hämmerwerk, bilden die bei weitem interessanteste und wichtigste Partie am Pianoforte und diejenige, an welcher die meisten Erfinder und Verbesserer sich versucht haben; daher ist denn auch die Zahl der gebräuchlichen und gebräuchlich gewesenen Mechanismen eine sehr ansehnliche, und wir können davon nur so viel zur Anschauung bringen, als zur allgemeineren Orientierung notwendig erscheint. Die vielfachen Wandlungen beziehen sich ausschließlich auf die hintere Partie des Mechanismus, auf das Hämmer- und Dämpferwerk, während die Tasten ihrer Bestimmung nach einfachere Stücke sind und ihre Anordnung von Haus aus eine fest gegebene ist.

Die Tasten macht man aus weichen, schlichten Hölzern, die dem Verziehen nicht unterworfen sind, Linden, Fichten u. dgl. Ihrem Prinzip nach sind sie Doppelhebel, bei welchen besonders der Dreh- oder Wagepunkt von Wichtigkeit ist; die Hebellänge kann verschieden sein und richtet sich nach dem Bau des Instrumentes und der Saitenlage. Den Wagepunkt für die Tasten gibt eine Leiste, auf welcher flache Stifte eingeschlagen sind, die durch einen Schlitz in der Taste gehen. Für die kürzeren Obertasten liegt die Reihe der Stifte entsprechend weiter vorwärts. Von der Lage des Wagepunktes hängt hauptsächlich die härtere oder weichere Spielart ab; ferner bestimmt sich aus dem Wagepunkt und dem

Spielraum, welcher der Taste für den Niedergang unter dem Finger gegeben wird (etwa $^3/_4$ cm), die Hubhöhe des hinteren Tastenteils und somit auch des darauf stehenden Stößers, der dem Hammer den Anstoß erteilt. Wir haben also hier schon eine ganze Reihe von Größen oder Maßen, die sich aufeinander beziehen und untereinander in Harmonie stehen müssen, wenn ein möglichst guter Anschlag erreicht werden soll.

Der älteste Mechanismus ist das Christofalische Hammerwerk, dessen Einrichtung uns Fig. 504 zeigt. In dieser Abbildung ist a b der hintere Teil der Taste, welche durch ihr Heraufgehen den um e drehbaren Hebel c d mit der Stoßzunge f in die Höhe hebt und den Dämpfer g gleichzeitig von der Saite h i entfernt. Die Stoßzunge stützt sich gegen einen plattgeschlagenen Draht k und wird von der Feder l gehalten. Der eigentliche Hammer m bewegt sich in der Hammernuß n, welche in der Hammerbahre o liegt; p sind kleine, kreuzweise geschränkte Schnürchen, zwischen denen die Hämmer eingeordnet sind. Eine oberflächliche Betrachtung schon läßt das Zweckmäßige dieser Mechanik erkennen, welches um so mehr hervortritt, wenn man Vergleiche mit der später aufgetauchten Erfindung Schröters anstellt.

Der alte Schrötersche Mechanismus, wie er nach einer geringen Abänderung durch den Straßburger Silbermann an den damaligen Instrumenten angebracht wurde, ist in Fig. 505 dargestellt. Das Stück a b ist das hintere Tastenende, auf welchem der Hammer c mit seinem Träger d steht. Geht die Taste durch den Druck des Spielers hinten in die Höhe, so wird der um einen Stift drehbare Schwanz oder Schnabel e des Hammers von der Kante der entgegenstehenden Leiste f aufgehalten und der Hammer muß demzufolge herum und nach oben schlagen. Der Spielraum der Taste selbst wird durch die untere, gepolsterte Seite g derselben Leiste beschränkt. Da der Hammerstiel einen viel längeren Hebelarm darstellt als das Schwanzende, so muß auch der Weg und die Geschwindigkeit des Hammerkopfes dem Verhältnis entsprechend größer sein. An den heutigen Instrumenten verhält sich der Niedergang der Taste unter dem Finger des Spielers hierzu etwa wie 1:8; also der Weg, den der Hammerkopf in derselben Zeit durcheilt, während die Taste niedergeht, ist achtmal weiter, daher auch seine Geschwindigkeit achtmal größer.

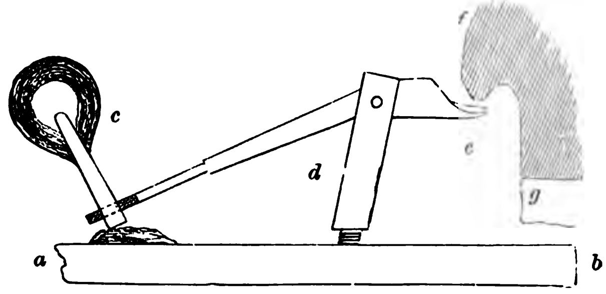


Fig. 505. Schröterscher, von Silbermann verbesserter Mechanismus.

Wir sehen, daß der Dämpfer, eines der wesentlichsten Erfordernisse, welches Christofali so sinnreich angebracht hatte, hier noch fehlt. Die Abdämpfung der nachklingenden Saiten geschah auf unvollkommene Weise durch eingeflochtene Tuchstreifen. In Deutschland verbesserte Stein den Schröterschen Mechanismus, und die Verlegung seines Geschäftes durch seine Kinder nach Wien wurde die Veranlassung zu der Bezeichnung Wiener Mechanik, welche sich lange und zum Teil bis heute erhalten hat. Stein erfand und setzte an Stelle der starren Abstoßleiste f (s. Fig. 504) den federnden Auslöser g (s. Fig. 506), welche dem Hammer mehr Freiheit gab, und anderseits, um diese Freiheit nicht ausarten zu lassen, den Hammerfänger i. Der Auslöser ist auf seiner Leiste mit einem Streifchen Pergament angeleimt und eine Drahtfeder drückt ihn immer einwärts an die gepolsterte Anschlagleiste. Der Hammer schlägt aus demselben Grunde nach oben wie beim vorigen Mechanismus, weil sein Schwanzende e sich an ein Hindernis stößt; hier aber ist das Hindernis ein ausweichendes, und auf gewisser Höhe des Hubes nach vollzogenem Hammerschlag muß der Aufhalter von der dann mehr geneigten Ebene des Hammerschnabels abglitschen, worauf sogleich der Hammer zurückfällt, wenn auch die Taste noch gehoben bleibt. Das weitere Aushalten auf der Taste hat dann nur noch die Wirkung, daß der Abheber h für den Dämpfer nicht niedergeht, also die angeschlagene Saite fortklingt. Der Auslöser hat sich nach erfolgtem Abfall des Hammers wieder an sein Polster angelehnt, und wenn

darauf die Taste wieder sinkt, weicht er vor dem Drucke der gerundeten Unterseite des Schnabels abermals zurück und schnappt wieder vor, sobald der Schnabel so tief gekommen ist, daß sich der Kopf des Auslösers über ihn stellen kann. Die Funktion des Auslösers erscheint somit als ein fortwährend wechselndes Einspielen seines Kopfes unter und über den vorbeigehenden Hammerschnabel. Eine solche Auslösung, d. h. eine Einrichtung, vermöge welcher der Hammer nach erfolgtem Anschlage sofort von selbst zurückfällt, findet sich in irgend einer Form an jedem späteren Mechanismus; ihr Nutzen springt in die Augen. Aber der Hammer empfängt auch von der getroffenen Saite einen Gegenschneller, der ihn zum abermaligen Aufspringen von seinem Polsterlager veranlassen könnte, weshalb denn stets auch ein Hammerfänger vorhanden ist, ein kleinerer gepolsterter, etwas schräg gestellter Gegenhalter, der den Hammerkopf durch das Anreiben der beiden weichen, rauhen Flächen oder auch durch mehr oder weniger Klemmung sogleich zur Ruhe bringt. Je stärker eine Taste angeschlagen wird, desto stärker schlägt sich der Hammer durch den Rückprall in den Fänger hinein.

Die Christofalische Idee, den Hammer von der Taste zu trennen, so daß er sich in einem besonderen, unbeweglichen Lager dreht, und ihm mittels einer mit der Taste verbundenen Stoßzunge den Antrieb zu erteilen, fand in Deutschland zwar Berücksichtigung, und es gibt ja einzelne, welche behaupten, Silbermann habe die Erfindung selbständig gemacht, indessen geschah ihre Pflege hauptsächlich in Frankreich und England durch deutsche Meister, und der Mechanismus kam später als englischer zu uns zurück, obschon kein Engländer etwas Wesentliches zu seiner Ausbildung beigetragen hat.

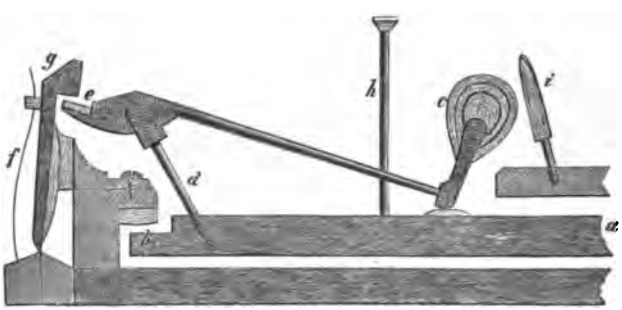


Fig. 506. Wiener Mechanismus.

Die sogenannte englische Mechanik unterscheidet sich also von der Wiener wesentlich dadurch, daß die Hämmer mit ihren Zäpfchenlagern in eine festliegende Leiste eingebettet liegen, wodurch die mechanischen Verhältnisse weit einfacher und günstiger werden als bei der vorigen Anordnung. Die Stoßzunge f (s. Fig. 507) steht auf der Taste a b senkrecht und gibt beim Emporsteigen dem Hammer m kurz vor seinem Drehpunkt n den Stoß, der ihn nach oben wirft; sowie der Stoß erfolgt ist, wird auf der bemessenen Höhe der Hammer infolge der Auslösung von dem Stößer frei und fällt in den Fänger zurück. Die Auslösung bildet immer ein feststehendes Hindernis, welches den Stößer, nachdem er ein gewisses Stückchen gestiegen ist, zu einer seitlichen Neigung nötigt, so daß seine Spitze ihren Angriffspunkt unter der Hammernuß verlassen muß. Der Stößer ist daher auf der Taste angelenkt, in geringeren Werken oft nur mit einem Pergamentstreifchen, in der Regel aber mittels Loch und Stift. Eine kleine Feder strebt, ihn beständig in der senkrechten Richtung zu erhalten, und bringt ihn dahin zurück, wenn die Auslösung ausgewirkt hat. Bei guten Instrumenten findet sich wohl die Einrichtung, daß der Anhängepunkt des Stößers an der Taste durch Stellschräubchen etwas höher oder tiefer gestellt werden kann, denn es ist augenscheinlich wichtig, die Hubhöhe desselben genau regulieren zu können. Unsre Figur zeigt eine gewöhnliche Anordnung des englischen Mechanismus. Die Auslösung bildet hier ein schräg durch die Hammerleiste gehender geköpfter Schraubenstift e, und es ist ersichtlich, daß beim Steigen des Stößers die schiefe Fläche des letzteren mit dem Köpfchen in Kollision kommen und der Stößer so weit nach links ausweichen muß, daß der Schnabel oben die Hammernuß verläßt.

Durch Vor- und Zurückschrauben des Auslösers wird beim Fertigmachen der Punkt ermittelt, wo Anschlag und Auslösung am besten und promptesten erfolgen. Auf dem hinteren Ende der Taste ruht ein Gegenhebel, welcher den Dämpfer g trägt. Die

Auslösung der Stoßzunge kann natürlich verschiedene andre Formen haben und hat sie auch, ihre Betrachtung würde aber zu weit führen.

Ein neuerer, vielfach gepriesener, von andern Seiten aber wieder nicht hoch angeschlagener Fortschritt im Pianofortebau ist die sogenannte Repetitionsmechanik oder doppelte Auslösung; die Idee stammt aus dem Erardschen Atelier in Paris, und durch Franz Liszt wurde die Novität berühmt gemacht. Bei jedem gewöhnlichen Mechanismus nämlich muß die Taste nach erfolgtem Anschlage wieder vollständig aufspringen können, bevor ein weiterer Anschlag erfolgen kann, denn die ausgelöste Stoßzunge muß sich erst wieder unter ihren Angriffspunkt am Hammer einstellen können. Der Repetitionsmechanismus dagegen gestattet eine und dieselbe Saite rasch nacheinander anzuschlagen, wenn ihrer Taste auch nur eine Hebung von 2—3 mm freigelassen wird. Hierdurch wird dem Virtuosen in Ausführung rascher Triller eine wesentliche Erleichterung gewährt.

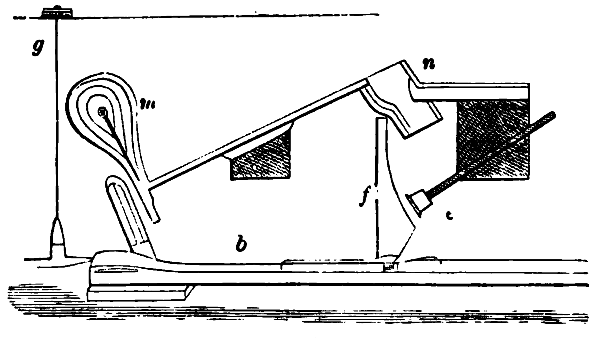


Fig. 507. Englische Mechanik.

Die von Erard gegebene Repetitionsmechanik ist ein Hauswerk von Gliedern, die nicht zum besten geordnet sind; seitdem sind einfachere Mechanismen ersonnen worden, welche das Nämliche leisten, und von deren einem wir hier in Fig. 508 ein Bild geben. Wir sehen in dem in Ruhelage dargestellten Mechanismus die Stoßzunge in Form eines Winkelhebels c d e und außerdem weiter oben mit einem zweiten Schenkel f versehen, auf welchem eine gebogene Stahlfeder steckt, die am andern Ende mit einem gepolsterten Köpfchen g sich unten an die Hammernuß h anlegt. Bei gewöhnlichem Spiel wirkt die Mechanik wie jede andre; das federnde Köpfchen hat nichts zu thun, obwohl es stets an der Hammernuß liegt und ihrem Auf- und Niedergange folgt. Wird aber die Taste vom Spieler angehalten, so daß die Stoßzunge ausgelöst bleibt, so fällt der Hammer nur ein kurzes Stückchen zurück und bleibt auf dem Köpfchen ruhen. Die Feder übernimmt nun interimistisch die Rolle einer Stütze und eines Hebels, denn sie ist stark genug, den Hammer in der Schwebe zu halten und die kurzen Antriebe, welche sich mit der niedergedrückten Taste geben lassen, durch das Köpfchen auf die Hammernuß zu übertragen, so daß der Saite selbst schwache, kurz ausgeholte Schläge in rascher Aufeinanderfolge erteilt werden können.

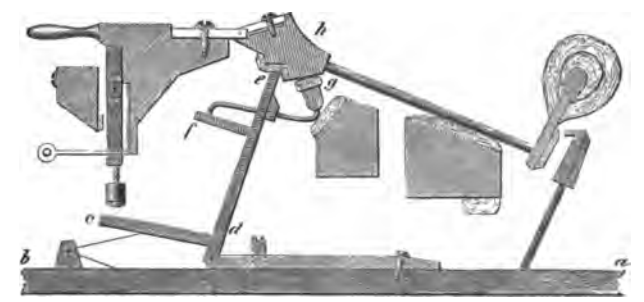


Fig. 508. Repetitionsmechanik.

In der Praxis erhält nun eine solche Mechanik, je nach dem besonderen Zwecke, welchem sie angepaßt werden muß, noch diese und jene Abweichung, die ihr Aussehen verändern kann, ohne daß ihr Wesen ein andres wäre. Fig. 509 zeigt uns eine Erardsche Flügelmechanik, wie sie neuerdings ausgeführt wird.

Damit jedoch sind die Vervollkommnungen des Pianofortes nur obenhin skizziert. Moscheles, Liszt, Thalberg, Rubinstein, Bülow, Tausig, und wie die großen Virtuosen heißen, wären nicht möglich gewesen, wenn nicht das Instrument bereits eine gewisse Stufe der Ausbildung erreicht gehabt hätte; sie zeigten, was auf dem Pianoforte alles geleistet werden kann, gaben aber auch ihrerseits wieder den Anlaß zu weiteren Verbesserungen.

Das Klavier ist demnach im Laufe der Zeit auch ein ganz andres Instrument geworden; sein jetziger Toncharakter ist wesentlich verschieden von seinem ursprünglichen, und älteren Musikstücken, selbst Beethovenschen noch, hört man an, daß sie entschieden für andre Klangeffekte gedacht sind, als unsre heutigen Instrumente bieten.

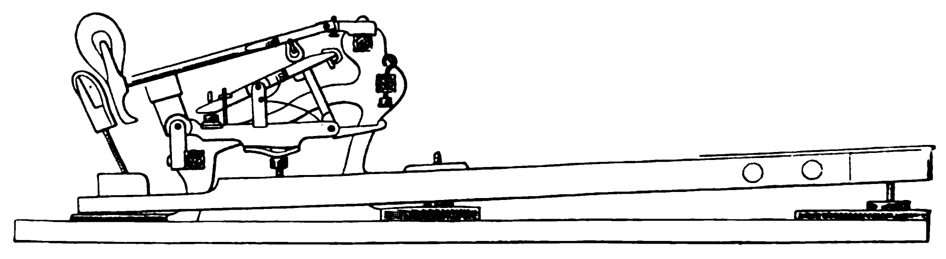


Fig. 509. Erards Flügelmechanik.

Für aufrecht stehende Instrumente, wo also die Hammerschläge in andrer und gewöhnlich in horizontaler Richtung fallen müssen, ist natürlich eine andre Anordnung des Mechanismus nötig. Hierbei werden die Bewegungen leicht etwas träger, weil die natürliche Schwere dabei weniger in Mitwirkung gezogen werden kann, man müßte denn kleine bleierne Gegengewichte in Anwendung bringen, was bei gewissen Einrichtungen auch stattfindet. Es gibt von horizontal schlagenden Mechanismen eine ziemliche Anzahl; wir wählen zur bildlichen Darstellung in der Fig. 510 einen der einfachsten, dessen Bau und Wirkung aus dem Vorhergegangenen verständlich ist und welcher vorzüglich durch eine hübsche Anordnung der Dämpfung ausgezeichnet ist. a b ist der hintere Teil der Taste, c d die Stoßzunge. Der Hammer f dreht sich in der Nuß e. Der Dämpfer k sitzt an dem einen Schenkel eines Winkelhebels g h i und wird von der Saite durch ein Stängelchen l l abgedrückt, welches von dem Hinterende der Taste beim Niederdrücken derselben emporgeschoben wird. Sobald der Finger die Taste verläßt, drückt eine Feder m den Dämpfer an die Saite n n wieder an.

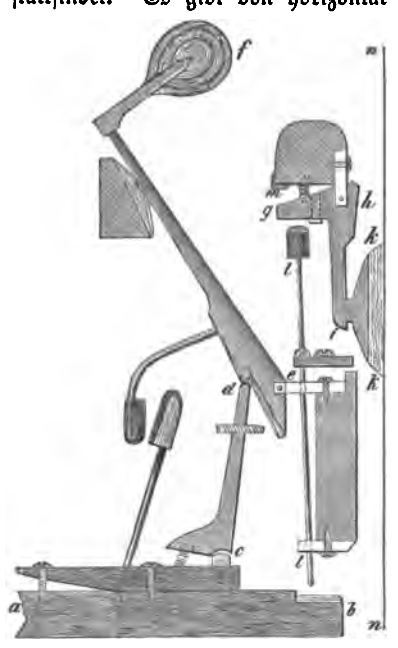


Fig. 510. Mechanismus für stehende Instrumente.

Endlich gibt es auch eine große Anzahl abwärts schlagender Mechaniken. Dieselben liegen mit ihrer Klaviatur über den Saiten, das Aufsteigen des hinteren Tastenteils wird daher nicht zu einem nach oben geführten Stoße benutzt, sondern zu einem Heraufholen des hinteren Armes des doppelarmigen Hammerhebels von unten. Statt der Stoßzunge geht ein verbindendes Glied von der Taste abwärts, das entweder beständig oder in Angriff und Auslösung abwechselnd mit dem Hammer, und zwar mit einem den Drehpunkt überragenden Schwanzstück desselben, in Verbindung steht. Namentlich verfolgte der Klavierbauer Greiner das Problem der niederschlagenden Mechanik, und wir geben in Fig. 511 die Abbildung der von ihm getroffenen Einrichtung. Die Saite a b wird von dem Dämpfer c verlassen, wenn das hintere Tastenende d e aufwärts geht. Dabei wird der die Stoßzunge vertretende und unten in einen Drahthaken h auslaufende Teil f g mit gehoben, und das Schwanzstück i des Hammers k l, in welches der Haken eingreift, erhält einen Ruck, der den letzteren auf die Saite schnellt. Die Auslösung erfolgt dadurch, daß das mit der Taste verbundene Stück f g bei einer gewissen Hubhöhe an ein Schräubchen m trifft und dadurch dasselbe zurückdrängt,

beim Herabgehen aber durch eine Feder wieder vorgedrückt wird. Eine Feder oder eine andre Anordnung nimmt den Hammer nach erfolgtem Anschlage sofort wieder zurück. Der am Ende der Hammernuß ersichtliche Körper n ist eine Art Fänger von Filz.

Mag nun eine oder die andre dieser verschiedenen Mechaniken zur Anwendung kommen, so liegt in den Vorzügen, die dieselbe vielleicht vor andern hat, noch nicht die Garantie für ein wirklich gutes Instrument. Denn da der Mechanismus für jeden einzelnen Ton ein selbständiger ist, so gehört außerdem noch die größte Genauigkeit, das feinste Gefühl der Hand und das geübteste Gehör dazu, um alle diese Tausende von einzelnen Teilen zu einem übereinstimmenden Ganzen zu verbinden.

Wenn wir eine Klaviermechanik obenhin ansehen, wie eine solche in Fig. 511 dargestellt ist, so liegen die meisten Bestandteile derselben versteckt, und die Sache sieht nicht so kompliziert aus, wie sie in der That ist. Die Zahl der einzelnen Stückchen verschiedener Hölzer, Stahl- und Messingdrähte, Tuch, Filz, Leder und Pergament an der Mechanik eines großen, mit den subtilsten Einrichtungen ausgestatteten Flügels kann über 3000 betragen; jedes Einzelne muß darin auf das akkurateste mit der Hand hergestellt und ebenso akkurat in das Ganze eingeordnet sein. Verschiedene Hölzer kommen für verschiedene Teilchen zur Verwendung, wie sie nach ihren Eigenschaften sich am besten eignen. Man wählt das eine, weil Stäbchen daraus sich nicht werfen; das andre, weil es recht gerade verlaufende Jahre hat; wieder andre, weil sie hart oder weich oder zähe u. s. w. sind. Am meisten kommen zur Anwendung Äpfel-, Birnbaum-, Linden-, auch Mahagoni-, Zedern-, Pernambuk- und Brasilienholz, und es erscheint fast wunderbar, daß die oft so schwachen Hölzer und Drähtchen das aushalten, was dem Pianoforte zugemutet wird. Darin aber zeigt sich der Meister, daß er sein Material kennt und richtig zu wählen versteht, daß er allen Teilen die richtigen Proportionen und Formen gegeben und alles so zusammengestellt hat, daß die freie Bewegung der Glieder nirgends gestört wird.

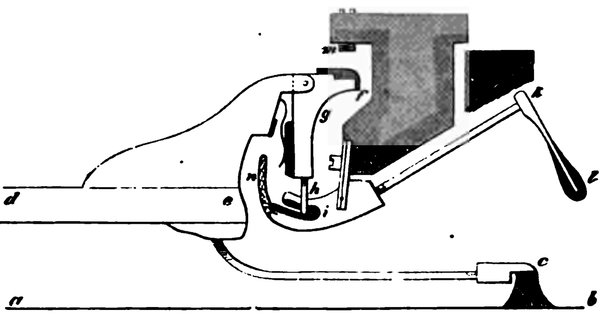


Fig. 511. Niederschlagende Mechanik.

Die Hämmer der neuen Instrumente bestehen nicht, wie die Tangenten der früheren Klaviere, aus harten metallischen Körpern, sondern man hat, der großen Saitenlänge entsprechend und um dem bedeutend verstärkten Tone das Harte, Scharfe zu nehmen, sie mit weichen Stoffen überkleidet, durch welche die Bewegung mehr auf die ganze Masse der Saite übertragen wird und jene hin und her laufenden Wellen, die zur Entstehung der klirrenden hohen Obertöne Veranlassung werden, sich nicht in dem Grade bilden können wie bei dem Klavier. Der Ton wird dadurch zwar etwas dumpfer, erhält aber größere Fülle. Daß die Dämpfung ebenfalls nur durch weiche Stoffe am besten gelingt, ist selbstverständlich. Die Belegung der Hämmer sowohl als der Dämpfer ist daher eine der wichtigsten Arbeiten des Klavierbauers und verlangt die größte Sorgfalt und das vollkommenste Material, wenn der Ton nicht an seinem ursprünglichen Charakter verlieren soll. Früher, wo man nur Schafleder und Baumwollenzeug für diese Zwecke kannte, waren dergleichen Übelstände unvermeidlich. Zwar wandte man auch Hirschleder zur Hammerbelederung an, und dieser Stoff würde allen Anforderungen genügen, allein er ist jetzt nicht mehr in ausreichender Menge zu haben. Ein großer Fortschritt war es daher, als man, zuerst in Frankreich, für Hämmer und Dämpfer besondere Filze herstellen lernte, die zur Zeit fast durchgängig Anwendung finden. In England wurde die Fabrikation solcher Filze bald nachgeahmt, und Deutschland mußte lange von beiden Ländern kaufen, hat sich aber endlich auch selbständig zu machen gewußt.

Der Hammerfilz erscheint in Tafeln von 1—$1\frac{1}{2}$ m Länge und $\frac{2}{3}$—$\frac{3}{4}$ m Breite, in der Dicke sich verjüngend (14—6 zu 4—2 mm). Er ist von großer Feinheit und Weichheit

und besteht aus reiner oder mit etwas Baumwolle gemischter Schafwolle, der wohl auch Kaninchenhaare zugesetzt werden.

Die Dicke und Rundung der Hammerköpfe und ebenso ihre Weiche ist am größten bei den tiefsten Noten und nimmt nach rechtshin in demselben Maße ab, wie die Länge oder Dicke der Saiten selbst. Nur die oberste Schicht des Überzugs besteht aus dem besten Filz; zum Unterpolstern dient als sogenannter Unterfilz eine geringere Sorte. Die Filzstückchen werden mit Leim an ihre Stelle befestigt und bei den stärkeren Köpfen schwächer, bei den dünneren straffer angezogen. Für die Diskantlage kommt auch jetzt noch Belederung vor.

Während so das weiche Hammer- und Dämpfermaterial mit den Saiten in Berührung tritt und einerseits den Ton bilden hilft, anderseits ihn verstummen macht, sind an zahlreichen andern Stellen Tuch oder Leder dazu angebracht, um kein andres Geräusch daneben aufkommen zu lassen, so daß der Gang des Mechanismus selbst ein völlig unhörbarer wird. Überall also, wo zwei harte Teile des Mechanismus in Berührung treten, befindet sich eine Belegung mit Tuch oder dergleichen zur Dämpfung des möglichen Geräusches; so unter den Tasten zunächst vorn am Niederdruck, dann in der Mitte, wo die Schlitze mit Tuch gefüttert sind, in welche die Wagestifte eintreten, am hinteren Ende der Taste sowohl unterhalb als nach Erfordern oberhalb desselben. An der Auslösung für die Stoßzunge wie an der Kröpfung der Hammernuß, gegen welche die Zunge spielt, ist natürlich eine besonders gute Belegung erforderlich. Ebenso sind die Backen oder sogenannten Kapseln ausgetucht, in denen sich die Hammernuß an ihrem Stifte dreht. Die Hämmer fallen auf eine gepolsterte Leiste zurück, und je nach der komplizierten Gliederung des Mechanismus ergeben sich noch so manche andre Stellen, wo eine harte Begegnung durch ein weiches Zwischenmittel gesänftigt werden muß; ja die Vorsorge geht an Werken von erster Güte so weit, daß selbst enge Löcher ausgetucht werden, in welchen ein Draht, etwa zur Hebung des Dämpfers, spielen soll. Die Hammerfänger sind stets mit weichem Leder überzogen, so daß hier zwei weiche, rauhe Körper miteinander in Berührung kommen, wie es dem Zwecke sofortiger Beruhigung des Hammers entspricht.

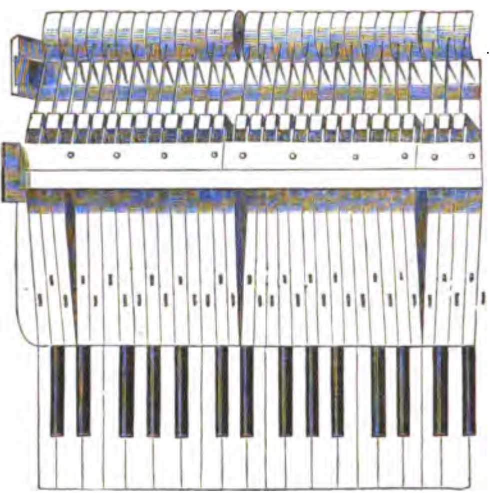


Fig. 512. Klaviatur und Hämmeranordnung.

Der Saitenbezug. Wir kommen nunmehr auf den Saitenbezug, auf den wichtigsten Bestandteil dieses Instruments, zu sprechen, welchem alle übrigen Teile nur als untergeordnete Glieder dienen. Die Veränderungen, welche mit den Saiten seit etwa 50 Jahren vorgenommen worden, erstrecken sich sowohl auf die Art und Güte des Materials, als auf die Stärke der Drähte. Die alten Klavierbauer nahmen zu ihren viel dünneren Bezügen in der Tiefe Eisen-, in der Höhe Messingdraht; den letzteren lieferte stets Nürnberg am besten, während es in bezug auf den Eisendraht später von Berlin übertroffen wurde. Jetzt ist das Material fast durchweg Gußstahl, eine Verbesserung, die aus England kam. Lange Zeit waren Webster und Horsfall hier die einzige Bezugsquelle für gute Klaviersaiten, späterhin sind sie aber von Miller in Wien und seit Ende der fünfziger Jahre von Pöhlmann in Frankenhammer nicht nur eingeholt, sondern bei weitem übertroffen worden. Ein Broadwoodscher Flügel, mit Millerschen Saiten bespannt und von innerhalb zehn Jahren in 460 Konzerten gespielt, verlor während dieser Zeit nur eine einzige Saite. Jetzt gibt es für gute Saiten mehr Bezugsquellen als für guten Hammerfilz.

Der Ton einer Saite hängt zwar, wie wir wissen, von der Länge ihres schwingenden Teiles, von ihrer Stärke und von dem Grade ihrer Spannung ab. Indessen können diese

drei Faktoren, wie die Erfahrung schon lange gelehrt hat, nicht beliebig für einander eintreten, sie müssen vielmehr untereinander in einem gewissen Verhältnis stehen, wenn der stärkste und beste Ton erreicht werden soll. Die Saite klingt nur dann am stärksten und reinsten, wenn sie so stark angespannt wird, daß sie dem Springen nahe ist; die festesten Saiten werden daher auch die besten sein. Kann aber der beste Ton nicht auf jedem Spannungsgrade erlangt werden, so ist es natürlich, daß die hauptsächlichste Vermittelung zwischen den beiden andern Faktoren, Länge und Stärke, gesucht werden muß. Die richtige Bemessung der Saitenlängen, welche letztere sich wieder nach der Bauart des Instrumentes zu richten haben, ist daher eine wichtige Aufgabe. Jeder Grad von Stärke, Länge, Gewicht und Spannung der Saite bringt eine besondere Beschaffenheit des Tones mit sich.

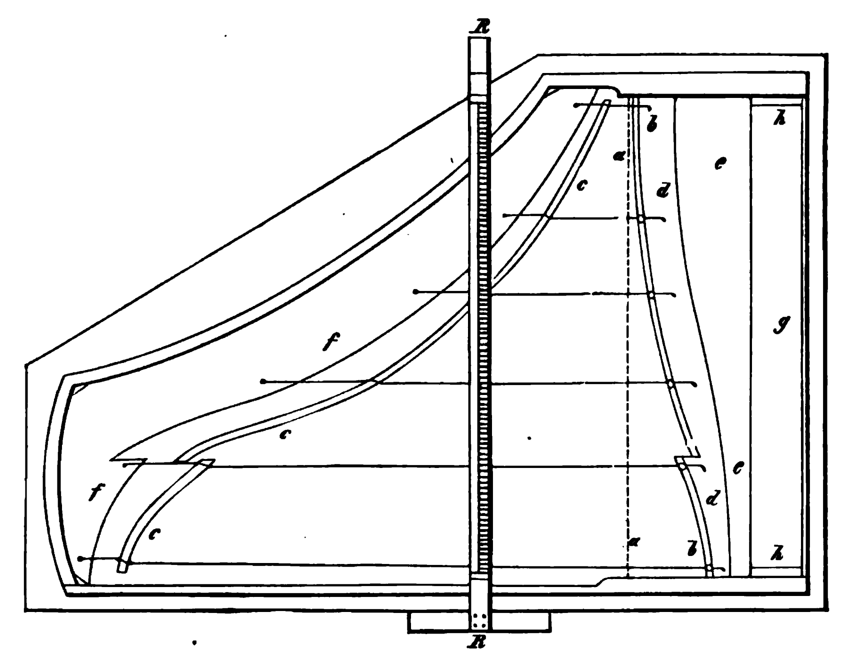


Fig. 518. Ansicht der Kasteneinrichtung.

Würde man zwei Saiten von gleicher Länge und Stärke so verschieden spannen, daß ihre Töne eine Oktave auseinander lägen, so würde der hohe Ton vielleicht gut, der tiefere dagegen schwach und stumpf klingen; wollte man anderseits zwei Saiten, um jene beiden Töne zu erzielen, nur in der Länge oder nur in der Stärke differieren lassen, so wäre der Unterschied in der Tonqualität wohl nicht so groß wie im erstgesetzten Falle, aber die gewünschte gleichmäßige Tonstärke würde doch nicht vorhanden sein. Das geübte Ohr des Instrumentenmachers hört schon deutlich den Unterschied zwischen zwei verschiedenen Saitennummern, obgleich ihrer in einem Instrument zwölf- bis zwanzigerlei zur Anwendung kommen, und er sucht eine Ausgleichung durch den letzten Überzug der Hämmer herzustellen. Die Praxis ist demnach die, daß man sowohl die Länge als die Stärke und in geringerem Maße auch die Spannung von unten nach oben abnehmen läßt. Es gibt hierfür wohl Regeln, aber immerhin ist das Verfahren nur ein vermittelndes, durchschnittliches, wobei dem Gehör die entscheidende Stimme verbleibt.

Die Pianofortebauer sollten deshalb, um die an sie herantretenden Fragen selbst beantworten zu können, mit den Lehren der Physik, wenigstens mit den Gesetzen der Akustik, Wellenbewegung, Elastizität u. dergl., vollkommen vertraut sein; leider aber verlegen sie sich der Mehrzahl nach fast nur darauf, irgend welche Musterinstrumente empirisch immer und immer wieder nachzubauen.

Nach der ermittelten Saitenlänge, die schon deshalb keine gleichmäßig abnehmende sein kann, weil nicht für jede Taste eine besondere Saitennummer existiert, ergibt sich die geschweifte Form des Resonanzbodenstegs und die Stellung der Stifte auf demselben. Als eigentliche Saitenlänge gilt nur die Entfernung zwischen den Stiften dieses Stegs und denen des am Stimmstock liegenden, weil nur dieser Teil der Saite schwingen kann.

Unsre dem Lehrbuch des Pianofortebaues von Blüthner und Gretschel entnommene Abbildung (s. Fig. 513) gibt uns die Einteilung eines Flügelkastens, eines sogenannten Stutzes. In derselben bezeichnet a a die Linie, in welcher die Hämmer anschlagen; b b ist der Stimmstocksteg, c c der aus zwei Teilen bestehende Resonanzbodensteg, d der Stimmstock, e der Keil, eine starke Holzplatte, die unmittelbar hinter der Spiellade g auf dem vorderen Teile des Stimmstockes liegt, f ist die Anhängeplatte, und durch h h sind die beiten Seitenteile des Klaviaturrahmens bezeichnet. Die Tasteneinteilung ist auf der über den Kasten gelegten Reißschiene R R angegeben.

In diesem Schema sind der Deutlichkeit halber die Eisenverspreizungen, welche Stimmstock und Anhängeplatte in der richtigen Entfernung festhalten, nicht angegeben, sie befinden sich an den Stellen der mittleren Saiten. Die Saiten selbst laufen hier alle einander parallel. In den letzten Jahren hat sich jedoch, namentlich durch Steinways Vorgang, der „übersaitige“ oder „kreuzsaitige“ Bezug, der jedoch schon von Früheren versucht worden war, überall zur Geltung gebracht, so daß auf der Wiener Ausstellung mehr als ein Dritteil der ausgestellten Klaviere gekreuzte Saitenlage zeigten. Diese Anordnung besteht darin, daß vom Diskant aus, wo die Richtung der Saite dem Hammerschlag parallel bleibt, die Saitenchöre allmählich in fächerförmiger Ausbreitung der Linie des Resonanzbodenstegs entlang von rechts nach links gelegt werden. Die besponnenen Saiten der tieferen Oktaven liegen dagegen ein wenig höher und kreuzweise über den andern von links nach rechts ausgebreitet auf einem verlängerten Baßstege, welcher parallel mit dem ersten Stege läuft. Es liegt auf der Hand, daß durch die verlängerten Stege des Resonanzbodens größere Flächen des letzteren bedeckt werden, der Raum zwischen einzelnen Saitenchören größer und dadurch der Klang mächtiger wird. Diese Vorzüge machen sich namentlich auch bei den Pianinos bemerklich, auf welche Steinway die neue Besaitungsmethode ebenfalls angewandt hat.

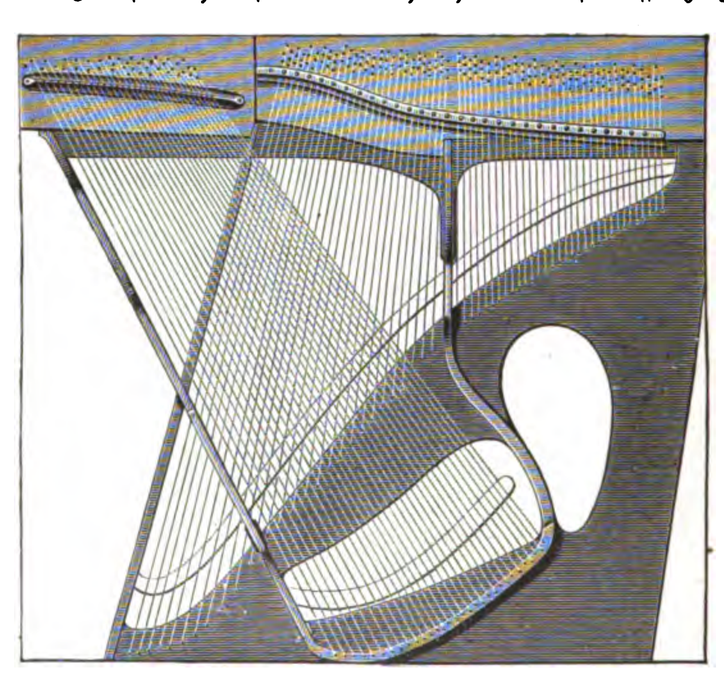


Fig. 514. Grundkörper und Saitenbezug eines Pianinos von Steinway.

Es bestehen nicht alle Saiten aus blankem Stahldraht; in der Baßlage ist vielmehr der Stahlkörper der Saite mit feinem Draht übersponnen, d. h. spiralförmig dicht umwickelt. Das Material hierzu ist feiner, weicher Kupferdraht oder auch nur in der ersten Oktave Kupfer, im übrigen feiner Eisendraht. Durch die Beschwerung mit dem Draht wird

die Saite genötigt, langsamer zu schwingen, also einen tieferen Ton zu geben. Der Spinndraht verhält sich dabei, als wenn er zur Masse des Drahtes selbst gehörte; wird z. B. einer Saite so viel Draht aufgesponnen, als sie selbst wiegt, so klingt sie unter übrigens gleichen Verhältnissen um eine Oktave tiefer als dieselbe Nummer unbesponnen. Ein andrer wesentlicher Vorteil des Überspinnens ist der, daß dadurch eine Menge Nebentöne unterdrückt werden, die bei einfachen Saiten, besonders in der Baßlage, störend mitklingen würden.

Durch doppelten oder dreifachen Saitenbezug (Chöre) wird selbstverständlich eine größere Tonfülle gewonnen; die Vermehrung der Saiten bewirkt dasselbe wie ihre Verstärkung. Daher sind alle kleineren Instrumente doppelt besaitet (zweichörig), die Flügel aber dreichörig bis zur tieferen Baßlage herab, wo dann ebenfalls die Zweizahl auftritt.



Fig. 515. Das Eisengerippe eines neueren Konzertflügels, von oben gesehen.

Die Klangfarbe. Der Punkt, wo der Hammer an die Saite schlägt, ist keineswegs gleichgültig. Wird eine Saite in der Mitte angeschlagen, so kommen natürlich alle diejenigen Obertöne nicht zur Geltung, welche hier einen Schwingungsknoten haben, denn der Teil, wo der Hammer die Saite berührt, wird gerade in die stärkste Bewegung versetzt. Da aber die Tonfarbe aus einem Zusammenklingen des Grundtons der Saite mit einzelnen oder mehreren ihrer Obertöne entsteht, von denen unter Umständen einer oder der andre den Grundton sogar an Intensität übertreffen kann, so muß das Ausfallen einer ganzen Reihe von Obertönen, wie des zweiten, vierten, sechsten, achten u. s. w., infolgedessen z. B. der Klang C dann nicht mehr aus den Tonbestandteilen c c' g' c'' e'' g'' b'' c''' ...., sondern vielleicht nur aus c g' e'' b'' u. s. w. bestehen würde, auf die Klangfarbe von wesentlichstem Einfluß sein. In der That hat eine in der Mitte angeschlagene Saite deswegen einen hohlen, näselnden Klang; derselbe ändert sich aber sofort, wenn man die Saite an einem andern Punkte, z. B. bei $^1/_3$ ihrer Länge, anschlägt, wobei dann der dritte, sechste und neunte Oberton ausfällt, dagegen c e' c'' e'' b'' c''' 2c. zusammenklingen. Es sind nun aber die höheren Obertöne über den achten hinaus solche,

welche nicht mehr in den Durdreiklang des Grundtones passen, deren Wegfallen also für die Klangfarbe des Klaviers nicht nur nicht von Nachteil ist, sondern sogar reinigend wirkt. Durch die richtige Verlegung der Anschlagstelle des Hammers kann man aber dieses Ausfallen sehr wohl erreichen, und die Klavierbauer haben bisher, ohne sich des Grundes bewußt gewesen zu sein, den Hammer für die mittleren Saitenlagen in $^1/_7$—$^1/_9$ der Länge anschlagen lassen, fühlend, daß auf diese Weise der schönste Toncharakter gewonnen werde. Helmholtz in seinem bereits citierten Werke führt dieses empirische Handeln auf seine wissenschaftlichen Gründe zurück, und es ist zu wünschen, daß die Instrumentenbauer den Resultaten derartiger Forschungen genügende Beachtung schenken und sich die dazu nötige physikalische Bildung als das notwendigste Handwerkszeug anzueignen suchen.

Ist endlich der künstliche und mühsame Bau des Instrumentes anscheinend fertig und steht dasselbe oberflächlich eingestimmt da, so gibt es gleichwohl noch eine Menge Arbeit daran zu thun. Es kommt nun das Ausarbeiten und Egalisieren des Mechanismus wie der Töne. Zuvörderst werden alle Teile des Hammerwerkes und der Dämpfung genau durchgegangen und jedes Glied untersucht, ob es das Gehörige leistet oder Nachhilfe bedarf. Der gleichschwere Niedergang der Tasten ist auf das sorgfältigste zu prüfen und herzustellen, wobei ein auf die Tasten gesetztes Gewicht Beihilfe leistet; das gehörige Kraftmaß aller Federn, die richtige Steighöhe der Stößer und der von ihnen beeinflußten Hämmer, die ruhige und pünktliche Auslösung, kurz alles, was sich auf das stumme Spiel des Mechanismus bezieht, muß in beste Ordnung gebracht werden, worauf dann an die Berichtigung der Tonverhältnisse selbst gegangen wird. Denn auch hier wird es manche Ungleichheiten zu ebnen geben; es können dumpfe, harte, grelle und sonst fehlerhafte Töne vorkommen, und der Grund, der oft nicht so leicht erkannt wird, kann, wie wir jetzt einsehen, die allerverschiedenartigsten Ursachen haben. Nachhilfen an der Belederung und Auswechselung einzelner Saiten werden vielleicht das Übel heben; ist dies nicht der Fall, so ist auf anderweitige Fehler zu schließen. Konstruktions- oder Materialfehler an den verschiedenen Teilen des Baues können einen bösen Einfluß äußern; Steg, Resonanzboden, Zargen, Stimmstock, Stegstifte &c. können geheime Mängel haben; verborgene unganze Stellen, wo der Leim nicht gefaßt hat, geheime Splitter u. dergl. müssen als tückische Feinde aufgesucht und unschädlich gemacht werden. Endlich können die Töne einzeln genommen gut sein, aber sie ordnen sich nicht zu einem gleichmäßigen Totaleffekt. Daraufhin muß aufs neue vornehmlich die Belederung und Dämpfung durchgeprüft werden.

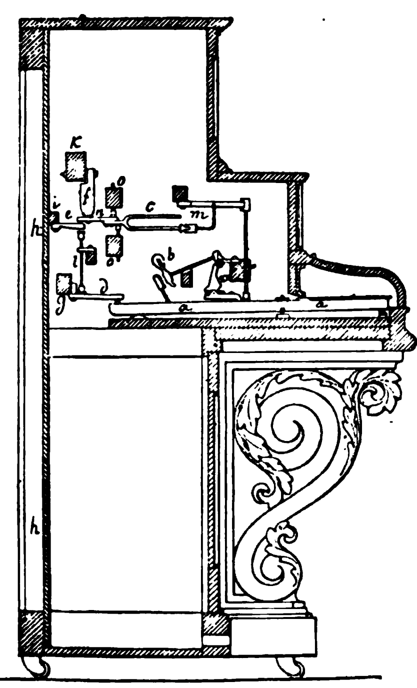


Fig. 516. Seitendurchschnitt des Adiaphons.

Und so entsteht denn durch Zusammenwirken von Handwerk, Kunst und Wissenschaft jenes interessante Gebilde, das seine Bestandteile aus allen drei Naturreichen, möglicherweise aus allen Weltteilen bezogen hat, das unter der Bedingung guter und sorglicher Behandlung eine Zierde des Hauses, ein treuer Gesellschafter und teilnehmender Freund sein kann in Freud und Leid, und mit dem wir uns deswegen so ausnahmsweise eingehend beschäftigt haben.

Adiaphon. Eine eigenartige Erscheinung unter den neuesten Erfindungen im Gebiete des Instrumentenbaues ist das von Fischer ersonnene und von Fischer & Fritzsch in Leipzig gebaute Adiaphon. Äußerlich ist es dem Pianino ähnlich und hat in der Konstruktion mit

dem Flügel die Hammermechanik gemein; der Klang des Tones ist aber von dem des Klaviers und der Orgel ein durchaus verschiedener. Der Gedanke, welcher der Konstruktion des Adiaphons zu Grunde liegt, besteht in der Aufgabe, ein Musikinstrument mit Stimmgabeln als Klangorganen herzustellen, um neben einem langgezogenen schönen Tone die bei keinem Klavier erreichbare absolut reine Stimmung zu gewinnen.

Lassen wir die Beschreibung unsrer Zeichnung des Seitendurchschnitts folgen: Die aus Stahl konstruierte Gabel c, welche in n eine durch das bewegliche Metall- resp. Holzglied gebildete Verlängerung ihres Stils erhält, hängt vermittelst des Holzteils f an dem Balken k und hat weitere Stützpunkte in den beiden Balken o. Ihre durch den Anschlag des Hammers b erzeugten Schwingungen werden in der beabsichtigten Stärke erst vernehmbar, nachdem sie durch das leicht federnde Holzglied e, welches an der auf den Resonanzboden h aufgeleimten Leiste i befestigt ist, auf den Resonanzboden übertragen worden sind. Dieses geschieht, indem bei Aufgang des hinteren Teiles der Taste a das Verbindungsglied e vermittelst des an dem Balken g befestigten und Widerstand findenden Hebels d und des auf diesem stehenden Stößers l an den verlängerten Gabelstil angedrückt und hierdurch den Schwingungen der Gabel der Weg zum Resonanzboden gebahnt wird. Infolge des Umstandes, daß diese Verbindung von Gabel und Resonanzboden einen, dem menschlichen Ohr jedoch nicht erkennbaren Moment nach dem Hammeranschlag erfolgt, wird dem Hammeranprall von vornherein eine in Klopfen oder Pochen ausartende Wirkung abgeschnitten. Aus dieser Konstruktion ergibt sich aber auch die als Vorzug zu erwähnende Eigentümlichkeit, daß der Spieler auf die Dauer der Schwingungen der Gabel in Fühlung mit diesen bleibt und Klangabstufungen hervorzubringen vermag, wie solche kein andres Tasteninstrument zuläßt. Die Dämpfung m hat den Zweck, die nach aufgehobener Funktion des Verbindungsgliedes e kaum hörbaren Schwingungen der Gabel vollends zu beruhigen. Durch ein Pedal läßt sich die Prolongation der Baßtöne bewirken.

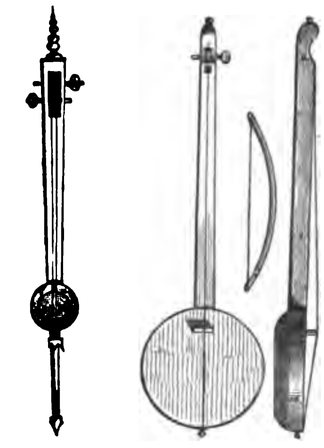


Fig. 517. Arabische Geige mit zwei Saiten. Fig. 518. Arabische Geige mit einer Saite.

Der Vorzug des Adiaphons ist nächst der Unverstimmbarkeit der reine und edle Ton desselben, der es vornehmlich zu einem Schul- und Begleitungsinstrument für Gesang geeignet macht. Man kann dem einzelnen Ton durch eigne Behandlung wie beim Streichinstrument Bewegung verleihen und jeder Klavierspieler kann ohne besondere Vorübung das Adiaphon sofort spielen. Allerdings wird es nur bei getragener Musik zur wahren Geltung kommen, auch ist sein Ton kein mächtiger, aber im Interesse des wirklich genial angelegten Instrumentes wollen wir wünschen, das es möglich sein wird, die Töne des Adiaphons noch kräftiger herauszubilden und es auch für lebhaftere Vortragsweise (Allegro, Presto, Scherzo u. s. w.) geeigneter zu machen.

Die Geige und die geigenartigen Instrumente. Von den Saiteninstrumenten ist das vollkommenste in seinen akustischen und musikalischen Verhältnissen, freilich aber auch dasjenige, dessen physikalische Theorie die meisten Schwierigkeiten bietet, die Geige oder Violine.

Merkwürdig ist, daß die Höhe ihrer Darstellung nicht in unsre Zeit, sondern um ein paar Jahrhunderte zurückfällt, und daß seit 1600—1680 neben den Fortschritten der physikalischen und musikalischen Wissenschaften ein gleicher Fortschritt auf dem Gebiete des Geigenbaues nicht zu bemerken ist. Die Geige besteht aus einem hohlen Klangkasten, über welchem mehrere gespannte Saiten gezogen sind. Form des Kastens und Art der Saiten ist in den verschiedenen Ländern der Erde, in denen bei nur einigermaßen entwickelter Kultur fast ausnahmslos geigenartige Instrumente angetroffen werden, verschieden. Übereinstimmend ist aber überall die Art und Weise, den Ton hervorzubringen, durch

Streichen der Saiten mittels eines durch Kolophonium haftend gemachten, roßhaarbezogenen Bogens, und die Erhöhung des Tones durch Verkürzung der Saite infolge von Niederdrücken auf einem langen, halsähnlichen Griffbrett.

Die Figuren 517 und 518 zeigen uns zwei arabische Geigen. Man findet die Geige bei den Hindus als begleitendes Instrument, wie sie im Mittelalter in Europa von herumziehenden Sängern gebraucht wurde. Das französische Wort für die um damalige Zeit von Jongleurs gebrauchte dreisaitige Geige, Rabel oder Rebek, stammt aus dem Arabischen von Rabib, was eine Art Lyra bedeutet. Das Wort Violine, Violon kommt von dem italienischen und spanischen viola, viula, dieses aber von dem mittellateinischen vitula her (wovon unser Fidel), Vitula (lateinisch) ist die Göttin der Freude, des Triumphes.



Fig. 519. Crout aus dem 9. Jahrhundert, nach einer alten Miniaturmalerei.

Vor dem 5. Jahrhundert waren die Streichinstrumente in Europa wenig bekannt. Sie verbreiteten sich nach den Normannenzügen und scheinen bei den nordischen Völkern schon früher in Übung gewesen zu sein. Immerhin aber spielten sie in der Musik nur eine untergeordnete Rolle und ihrer Herstellung schenkte man noch lange nachher nur geringe Kunst und Aufmerksamkeit. Erst mit dem 12. Jahrhundert ändern sie häufig Gestalt und Namen, und der Vervollkommnung in der Spielweise, die man hierdurch erlangte, folgten auch Verbesserungen in der Ausführung der Musikkörper.

Das älteste verbesserte Instrument dieser Art scheint dasjenige zu sein, was in alten Manuskripten Crout genannt wird, ein Wort, welches mit dem Namen eines andern verwandten Instrumentes rote oder rota zusammenhängt und jedenfalls aus der lateinischen Form crotta abgeleitet ist. Der Crout, dessen sich die nordischen Barden bedient haben sollen, hatte einen länglichen, an beiden Seiten mehr oder weniger ausgeschweiften Tonkörper, einen Hals, der mit jenem zusammenhing und in welchem sich zwei Öffnungen befanden, die der linken Hand erlaubten, die Saiten niederzudrücken, also den Ton zu verändern. Die Zahl der Saiten war anfänglich drei, über einen Steg gespannt. Später vermehrte sie sich auf vier, ja bis auf sechs, von denen aber zwei leer gingen. Der Musiker strich sie mit einem geraden oder gekrümmten Bogen, der mit einer Metallsaite oder mit Roßhaaren bespannt war. Über das 12. Jahrhundert hinaus hat sich der Crout nicht im Gebrauch erhalten. Er wurde durch die Rote oder Rota ersetzt, welche im 13. Jahrhundert hauptsächlich gespielt wurde und in der Absicht erfunden worden zu sein scheint, eine Vereinigung von Saiten, die gestrichen, und solchen, die geschlagen wurden, hervorzubringen. Der Körper war unten, wo die Saiten festgemacht sind, breiter als oben, dem Griffblatte zu, er hatte vier Schallöcher. Der Hals ist selbständig und nähert sich schon mehr der heutigen Geigenform.

Da aber der Kasten flach war und die Saiten auch nicht auf einem Stege aufgelegen zu haben scheinen, so muß es große Schwierigkeiten gemacht haben, eine einzelne von ihnen zum Tönen zu bringen, und das Instrument hatte wahrscheinlich die Aufgabe, durch Angabe von Terzen, Quinten und Oktaven der gesungenen oder von einem andern Instrumente gespielten Melodie eine harmonische Begleitung zu geben.

Daß diese Instrumente in ihren verschiedenen Formen lange nebeneinander bestanden und Abänderungen daran auch schon sehr zeitig auftraten, ehe sie so allgemeinen Eingang fanden, daß dadurch die älteren Konstruktionen ganz verdrängt wurden, versteht sich für Zeiten, in denen eines noch wenig entwickelten Verkehres wegen alles einen konservativen Charakter hatte, von selbst. Wir sehen deshalb schon im 11. Jahrhundert in der Reihe der elf musizierenden Figuren aus dem Kapitäl der St. Georgskirche zu Boscherville, welche wir in Fig. 495 abgebildet haben, die erste ein dreisaitiges Instrument, wie eine Viola, zwischen den Knieen haltend, mit Ausschnitten zu beiden Seiten und vier mondförmigen Schalllöchern, eine andre eine viersaitiges Instrument wie eine Geige spielen. Die Übereinstimmung mit Fig. 522 springt in die Augen. Der Übergang zu denjenigen Formen, die jetzt in den Streichinstrumenten, wie es scheint, als vollkommenste sich herausgebildet haben, machte sich ganz allmählich. Die zweite Figur in der abgebildeten Reihe bearbeitet ein Saiteninstrument in der Art, wie wir es noch bei den Kinderspielzeugen haben, bei denen ein Reiter oder ein Bär oder tanzende Paare durch eine Kurbel in Bewegung gesetzt und zugleich, indem eine Darmsaite durch die Umdrehung der Kurbel gerissen oder gerieben wird, einige kümmerliche Töne hervorgebracht werden.



Fig. 520. König David, die Rota spielend. (Nach einer Glasmalerei in der Kathedrale von Troyes.)

Jedenfalls waren die alten Instrumente von einer vollkommneren Herstellung und auch von besserer Leistung, was man daraus vermuten darf, daß sie mittels eines Griffbrettes die Länge der Saiten zu verändern gestatteten. Auf der letzten Pariser Ausstellung suchte sich diese Form unter dem Namen Piano quatuor wieder Eingang zu verschaffen, was ihr jedoch wohl nur in sehr geringem Grade gelungen sein wird. Das Piano quatuor hatte eine Klaviatur und einen Saitenbezug. Die Saiten kamen beim Andrücken der betreffenden Taste mit einer dicht vor derselben liegenden rotierenden Walze in Berührung, welche durch die Reibung einen dem Tone der Streichinstrumente ähnlichen Ton hervorrief; daher der Name. Die Rotation wurde durch Fußhebel bewirkt.

An der Kirche Notredame zu Paris war vor der Revolution noch am Portale der unteren Seite eine stehende Figur, welche für den König Chilperich gehalten wurde. Dieselbe stammte ebenfalls aus dem 11. Jahrhundert und hielt eine Geige in der Hand, deren zierliche Form schon auf eine bedeutende Vollkommenheit in der technischen Ausführung schließen läßt. Ebenso ist aus dem 12. Jahrhundert in der Abtei St. Germain des Prés in Paris eine musizierende Figur bekannt, welche eine fünfsaitige Viola traktiert. Aus einer Miniatur des 14. Jahrhunderts in der Nationalbibliothek zu Paris, und aus einer gleichzeitig errichteten Figur am Portal der Kapelle St. Julien des Ménétriers (s. Fig. 521) ersieht man, daß das damals übliche Rebek ziemlich genau mit einer dreisaitigen Geige übereinstimmt und dasselbe sogar schon die Schnecke unsrer heutigen Geigen besaß. Wir dürfen daher die Geschichte der Violine in ihrer heutigen Gestalt bis in die damalige Zeit zurückführen.

In ihrem Wesen sind alle derartigen Instrumente mit der Geige so übereinstimmend und in der Entwickelung ihres gemeinsamen Gebrauches zur Verstärkung oder Harmonisierung

der von der Geige gespielten Melodie so Hand in Hand mit dieser gegangen, daß wir die Geschichte des Prinzipalinstrumentes zugleich für die Entwickelungsgeschichte der übrigen ansehen können.

Die Kunst der Geigenmacherei erhob sich vorzüglich in dem musikalischen Italien, wo der kirchliche Gebrauch die Ausbildung der Instrumentalmusik auf das wesentlichste fördern mußte. Dort hat auch dies Instrument die Glanzperiode seiner Entwickelung erreicht. Die ersten Violinen mit vier Saiten wurden von einem gewissen Testori gebaut. Die Arbeit daran ist indessen noch ziemlich roh und der Ton schwach. Der Nachfolger Testoris aber, Andreas Amati in Cremona, hob den Geigenbau rasch auf eine hohe Stufe der Vollkommenheit, so daß sein Ruf sich weit ins Ausland verbreitete und durch Instrumente, die Karl IX. bei ihm bestellen ließ, den italienischen Geigen ein bedeutender Vorzug vor allen ähnlichen Instrumenten errungen wurde. Sein Sohn oder seine Söhne Antonio und Henricus Amati — beide Namen kommen möglicherweise derselben Persönlichkeit zu — widmeten sich der Aufgabe ihres Vaters durch ihr ganzes Leben, und sie erreichten es, daß die vollendetsten Instrumente, die es wohl gibt, ihrem Fleiße und ihrer Ausdauer zugeschrieben werden können. Die Jahre 1594 bis ungefähr 1625 bezeichnen den Zeitraum, aus welchem, wie man annimmt, die vollkommensten Amatiinstrumente herrühren. Die bedeutenden Erfolge ließen in der Familie der Amati eine förmliche Geigenfabrikation entstehen, welche auch anderwärts für ihre Rechnung Geigen herstellen ließen, denen sie dann wohl die schließliche Vollendung und den Namen gaben.


Fig. 521. Rebekspieler vom Portal der Kirche St. Julien des Ménétriers in Paris.

In dem gegenwärtig bayrischen Städtchen Füßen arbeiteten allein sechs Geigenmacher für Cremoneser Fabriken.

Die überreiche Produktion konnte freilich auf die Güte der Erzeugnisse nicht vorteilhaft einwirken, und so sehen wir denn um die Mitte des 17. Jahrhunderts den Ruhm auf einen andern Geigenbauer übergehen, Andreas Guarnerio, welcher, und nach ihm sein Sohn Joseph, bis in den Anfang des 18. Jahrhunderts hinein den Bau von Streichinstrumenten in Cremona betrieb. Von ihnen erlernte die Kunst Anton Stradivario, und die drei dürften wir als die würdigen Nachfolger und gleichberechtigten Kunstgenossen der Amatis in deren Blütezeit ansehen. Ein Schüler Nikolaus Amatis zu Cremona und des ebenfalls berühmten Vimercati zu Venedig — Jakob Stainer aus Absam in Tirol — verpflanzte den Geigenbau nach Deutschland.

Mit Stainer aber schließt die klassische Zeit dieser Kunst ab. Nach den genannten Meistern ist der Bau der Violinen zwar immer ein lebhaft betriebener Industriezweig sowohl in Italien als anderwärts geblieben, und sehr gute, ja einzelne vortreffliche Instrumente sind auch in späterer Zeit gebaut worden, allein die Epigonen haben sich nirgends auf die hohe Stufe der allgemeinen Vollendung ihrer Vorgänger zu schwingen vermocht. Man darf nicht glauben, daß gute Geigen früher besser bezahlt wurden als jetzt, im Gegenteil sind für vollkommene Instrumente Preise zu erlangen, welche die Amati und Guarneri lange nicht bekamen. Es sieht aus, als ob das Geheimnis der Verhältnisse, die Auswahl der Hölzer, der Schnitt der einzelnen Teile, das Zusammenfügen, der Bezug, ja selbst das Lackieren, welches alles jene alten Geigenbauer durch einen besonderen Instinkt erfunden zu haben scheinen, verloren gegangen sei, und die Leistungen der früheren sind nur durch Nachahmung ihrer Bauweisen einigermaßen zu erreichen. Freilich ist die unaussprechliche Schönheit der Amati, Guarneri, Straduari zum Teil auch mit ein Produkt der Zeit.

Die Geigen gewinnen mit dem Alter an Vortrefflichkeit, so daß dieselben Instrumente, welche heute als vollkommen schön gelten, denselben Anspruch vor hundert Jahren oder noch länger vielleicht nicht zu machen vermochten, und umgekehrt, daß Instrumente, die

heute trotz ihrer tadellosen Darstellung in bezug auf Tonschönheit und Fülle die alten Geigen lange nicht zu erreichen vermögen, in 50 Jahren vielleicht zu ganz vorzüglichen Instrumenten geworden sind. Aber wie beim Weine, so scheint auch bei der Geige die Zeit höchster Vollkommenheit eine bestimmte zu sein, nach welcher sie in ihrer Tonschönheit wieder zurückgeht, und daher mag es kommen, daß jetzt die Guarnerio- und Stradivariogeigen den um 50 Jahre älteren Amatiinstrumenten oft vorgezogen werden. Trotzdem man jetzt nicht minder als früher die höchste Sorgfalt und Kunstfertigkeit an das beste Material wenden kann, scheint nicht nur nicht ein Überbieten, sondern kaum ein Erreichen der Leistungen jener berühmten Geigenbauer möglich zu sein. Daß aber dieses Gebiet an sich nicht ein durch ein einziges Schema erschöpftes ist, beweisen die Instrumente der alten Meister hinlänglich. Die Abweichungen voneinander sind nicht zu verkennen und so bedeutend, daß geübte Beurteiler im stande sind, den Verfertiger jedes alten Instruments mit Sicherheit schon aus dessen äußerem Ansehen zu erraten. Wenn die beste Form als eine Erfindung der Amati zu betrachten ist, so waren trotzdem die übrigen keine bloßen Nachahmer. Die Veränderungen in den Einzelheiten beweisen, daß sie nach andern Prinzipien und gestützt auf andre Erfahrungen selbständig ihre Instrumente bauten und auf die eigentümliche Bauart durch besondere Rücksichten gelenkt wurden.



Fig. 522. Altdeutsche Musikanten mit Violine und Baß. Nach Jost Amman.

In Fig. 523 sind einige alte Geigen abgebildet, wie sie Mersenne in seiner „Universalharmonie“ uns überliefert hat. Das größere Instrument stammt aus der letzten Hälfte des 16. Jahrhunderts, und man sieht, daß sich seit jener Zeit diese Form bis zu der heutigen Gestalt (s. Fig. 525) fast unverändert forterhalten hat. Das kleinere ist eine sogenannte Taschengeige (Pochette), die bei ihrer kleinen Form allerdings von Tanzmeistern leicht in den Taschen der damaligen weiten Röcke transportiert werden konnte. Ihr Geschlecht ist ausgestorben. Wenn sich aber die Form der Violine nicht wesentlich geändert hat, so ist dafür der Bogen einer allmählichen Umgestaltung unterlegen, welche ihn durch die in Fig. 524 abgebildeten Formen seit Anfang vorigen Jahrhunderts allmählich zu seiner heutigen Gestalt gebracht hat.

Bestandteile und Theorie der Geige. Der Klangkasten ist aus mehreren Stücken zusammengesetzt, von denen jedes seine bestimmten Verhältnisse besitzt. Die gewölbte Decke wird aus Weißtannenholz oder auch aus Haselfichte hergestellt; der Boden der Geige, ebenso die Seitenwände oder Zargen, sind gewöhnlich von Ahornholz. Der Boden ist ebenfalls gewölbt, aber weniger als die Decke. Die Vollkommenheit des Holzes und namentlich desjenigen, welches zur Decke verwendet wird, hat den allergrößten Einfluß auf die Schönheit des Tones, denn seine Elastizitätsverhältnisse sind es ja fast allein, welche demselben Fülle und Rundung geben. Die passende Auswahl ist deshalb auch eine der Hauptaufgaben der Geigenbauer, und es wird erzählt, daß die alten Meister sich ihre Hölzer selbst im Walde ausgesucht und zu diesem Zwecke die entlegensten Gebirge auf ihren Wanderungen durchstreift haben. Die Jahresringe müssen mit einer großen Regelmäßigkeit sich umeinander legen und dürfen weder zu nahe, noch zu weit voneinander abstehen. Im Innern des hohlen Körpers ist ein Stab aus Fichtenholz der Länge nach eingeleimt, so daß er gerade unter dem linken Fuß des Steges sich hinzieht. Auf diese Weise wird die tiefste oder G-Saite

in eigentümlicher Art mit der Decke fest verbunden. Die Diskantsaiten sind so unterstützt, daß unter dem rechten Fuß des Steges zwischen Decke und Boden ein vertikales cylindrisches Stäbchen, die Stimme, Seele oder Stimmstock genannt, eingeklemmt wird. Die Decke enthält die schon erwähnten Schalllöcher oder ihrer Form nach *S*-Löcher genannt. Sie sind für die Bildung des Tones vom allergrößten Einfluß, wirken aber jedenfalls in ganz andrer Weise, als man früher annahm, daß sie nämlich den Erschütterungen der eingeschlossenen Luft einen Ausweg gestatten sollten. Die Saiten laufen über die Länge der Decke hinweg; sie sind unten in ein kleines Brettchen eingeklemmt und werden in ungefähr gleichen Abständen über den gewölbten Steg hinweggeführt. Die betreffende Länge erhalten sie dadurch, daß an dem Körper der Geige der sogenannte Hals, ein verlängertes Holzstück, in dessen oberem Ende die Spannwirbel sich drehen, eingefügt ist. Der Hals dient als Griffbrett, auf welchem die linke Hand durch Niederdrücken die Saite verkürzt und dadurch den Ton derselben beliebig erhöht. Am oberen Ende läuft der Hals in die Schnecke aus. Die Saiten sind so geordnet, daß links die dickeren, schweren, mit Metall überzogenen Baßsaiten, rechts die Diskantsaiten sich befinden. Die Stimmung ist von links nach rechts g d a e. Übrigens ist die Stimmung nicht immer dieselbe gewesen; Barbella stimmte z. B. a d fis cis, Lolli D d a e, Paganini as es b f u. s. w.

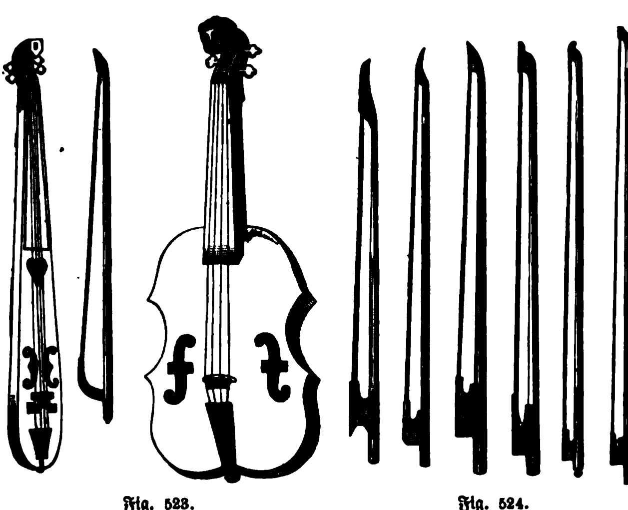


Fig. 523. Alte Geigen nebst Bogen.

Fig. 524. Verschiedene Formen des Bogens.



Fig. 525. Die klassische Form der Geige.

Die Bratsche, Viola, ist von der Violine durch einen etwas größeren Korpus unterschieden; die höchste Saite der letzteren fehlt ihr, dagegen hat sie noch eine tiefere als die Geige. Noch größer in seinem Körper ist das Violoncello, welches deswegen auch nicht mehr beim Spielen zwischen Schulter und Hals eingestemmt werden kann, sondern auf den Boden aufgestemmt und zwischen den Knieen gehalten wird. Man hat seit den frühsten Zeiten schon geigenähnliche Instrumente von verschiedener Größe und verschiedener Tonhöhe gebaut, und namentlich war im 17. Jahrhundert eines derselben, die Viola da Gamba, sehr beliebt. Es entsprach einer Mittelstufe zwischen Bratsche und Violoncello und diente in Konzerten hauptsächlich zur Begleitung der Geige. Das Violoncello in seiner heutigen Gestalt ist nach Antony von Tardieu, einem Geistlichen von Tarascon und Bruder eines damals berühmten Kapellmeisters, zu Anfang des vorigen Jahrhunderts erfunden worden. Es war anfänglich mit fünf Saiten bespannt, die C G d a d gestimmt waren; die fünfte, d, ließ man aber bald weg. In Frankreich wurde das Violoncello unter Ludwig XIV. eingeführt; im Orchester erschien es 1720.

Der Baß (Fig. 526) ist das Streichinstrument vom größten Kaliber; er hat die stärksten Saiten, welche niederzudrücken schon eine bedeutende Kraft beansprucht, ja bei den Monstrebässen, welche hin und wieder gebaut worden sind, aber mehr der Kuriosität als einem wirklichen Kunstbedürfnis dienen, hat man die Verkürzung, das Greifen der Saiten, besonderen Maschinenvorrichtungen übertragen.

In der Musik spielt die Geige die Melodie, Bratsche, Violoncello und Baß dienen der harmonischen Begleitung, in welcher der letztere den Grundton angibt.

Die italienischen Geigen unterscheiden sich von den deutschen dadurch, daß sie im Durchschnitt etwa 4 cm länger und etwas schmäler sind als diese. Die besten Amatigeigen sind in der Decke stark gewölbt bis zur Höhe von 3 cm, schlank, zierlich und mit nicht sehr hervorragenden Ecken. Der Rand ist ziemlich stark und schön abgerundet. Die Schalllöcher stehen der geringeren Breite wegen näher aneinander. Der Boden ist meist von geflammtem Ahornholz und mit einem lichten kirschbraunen Bernsteinlack lackiert. Doch findet man auch, namentlich von Nikolaus Amati, Instrumente, welche in bezug auf Dimension etwas von diesen abweichen und die auch einen helleren Lack haben. Die Stradivariogeigen sind in ihrer Decke bei weitem weniger gewölbt, kaum halb so viel, während die Guarneris mehr mit den Vorbildern des Nikolaus Amati übereinstimmen. Stainer ging noch weiter in der Wölbung der Decke und machte dieselbe so hoch, daß man, wenn man die Geige horizontal hält, unter der Decke durch die beiden *S*-Löcher hindurchsehen kann.



Fig. 526. Der Baß.

Es ist schwierig zu sagen, welche der einzelnen Teile der Geige und der mit ihr verwandten Saiteninstrumente zu dem Gelingen des Tones beitragen. Die Abstufungen sind so mannigfacher und untereinander so zart nüancierter Art, daß bei den verschiedenartigen Bestandteilen der Einfluß des einen oder des andern aus dem zusammengewirkten Produkt kaum herauszulesen ist. Savart hat zwar versucht, die Theorie der Geige nach physikalischen Grundsätzen zu entwickeln, allein mit so gut wie keinem Erfolge, denn das sargähnliche Instrument, das er aus sechs rektangulären Brettchen zusammensetzte, ist mit einer Geige in keiner Art zu vergleichen, obwohl Savart dasselbe als die Prinzipalgeige ansah. Die Gesetze schwingender Platten, wie sie in der Physik aus einfachen Experimenten abgeleitet werden, erleiden bei der Geige eine solche Komplizierung, einmal durch die eigentümlich konstruierte Form, sodann durch die Wölbung der Decke, durch den Einschnitt der *S*-Löcher, durch die verschiedene Dicke des Holzes, durch die Befestigung des Randes, durch die durchgezogenen Stäbchen und Stützen, durch die verschiedene Verteilung der Spannkräfte, welche der Bezug ausübt u. s. w., daß, obwohl alle diese Faktoren natürlicherweise von der einfachsten Gesetzmäßigkeit beherrscht werden, doch das endliche Ergebnis nicht in eine einfache Formel zu fassen ist. In gleicher Weise nun wirken auch die Zargen, der Boden und der Hals ein. Keiner dieser Teile ist aber erschöpfend für sich auf seine Wirkungsweise zu untersuchen, und deswegen sind auch an Versuchsapparaten, an denen der eine oder der andre Bestandteil fehlt oder verkümmert dargestellt ist, keine Beobachtungen zu machen, welche auf die Geige einen unfehlbaren Schluß zuließen. Damit kann selbstverständlich nicht gesagt sein, daß die physikalischen Wissenschaften sich von der Erklärung und Begründung dieses Instruments ganz zurückziehen sollten, im Gegenteil werden ihre Schlüsse den Instrumentenbauern wesentliche Vorteile an die Hand zu geben vermögen, nur müssen sie umgekehrt das Instrument als ein fertiges Produkt annehmen und den Gründen seiner Eigentümlichkeit a posteriori nachspüren.

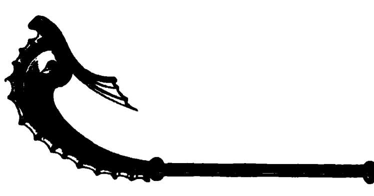
Die Geige ist, wie sie ist, ein durchgeistigtes Instrument, ein Organismus, wie ihn belebte Wesen haben; sie hat Körper, Nerven und Seele; jedes derselben hängt von dem andern ab in natürlicher Weise, aber keines läßt sich von dem andern lostrennen und für sich auf seinen belebenden Einfluß bemessen und erwägen.

Die eigentümliche Klangwirkung der Streichinstrumente beruht nach Helmholtz darauf, daß der Grundton besonders stark hervortritt und stärker als in den nahe ihren Enden

geschlagenen oder gerissenen Saiten des Klaviers und der Guitarre, die ersten Obertöne dagegen verhältnismäßig schwächer und erst die höheren Obertöne vom sechsten bis etwa zum zehnten hin mit besonderer Deutlichkeit sich bemerklich machen und die Schärfe, welche den Klang aller Streichinstrumente charakterisiert, hervorrufen. Die neueren Instrumentenbauer, unter denen namentlich Vuillaume in Paris, Padewet aus Karlsruhe, Grimm in Berlin, Otto in Köln, Lemböck in Wien ausgezeichnet sind, haben sich in richtigem Verständnis ihrer Aufgabe auch weniger mit der Herstellung von Geigen nach neuen Prinzipien als in Befolgung alter Muster versucht, und ihre Erfolge sprechen deutlicher als alles andre dafür, daß dies vor der Hand der einzige richtige Weg ist.

Man hat zwar mancherlei neue Geigen von Messing, Silber, mit elliptischen oder sphärischen Körpern, mit Metallsaiten bezogen u. s. w. dargestellt, allein wenn auch auf solche Weise sich brauchbare Instrumente hervorbringen ließen, so waren dieses doch eben keine Geigen mehr, sondern Tonwerkzeuge von ganz neuen, aber unbeabsichtigten Eigenschaften. Will man den Geigenton erzeugen in der Weise, wie wir ihn an den alten Instrumenten lieben, so bleibt eben nichts übrig, als ihn mit denselben Mitteln und genau auf dieselbe Weise hervorbringen zu wollen, wie es Amati, Guarneri und Stradivari zuerst und am schönsten gethan haben.

Der Geigenbau in Deutschland spielt vorzüglich zu Mittenwald eine sehr große Rolle. Er wird dort fabrikmäßig betrieben, und die bei großer Billigkeit doch vorhandene Güte der Instrumente einerseits und der dadurch bedingte große Absatz anderseits haben ihm eine solche Bedeutung verschafft, daß wir auch hier diesem Industriezweige eine Beachtung zu schenken haben. Sein Ursprung geht zurück bis in das 17. Jahrhundert und knüpft sich an die Thätigkeit des alten Meisters Stainer. Jakob Stainer, am 14. Juli 1627 zu Absam bei Hall im Innthal geboren, kam als Knabe zu einem Orgelbauer in die Lehre, vertauschte aber bald diese Beschäftigung körperlicher Schwächlichkeit wegen mit dem leichteren Gewerbe der Geigenmacherei, welches damals in Cremona blühte, und wohin, wie schon erwähnt, mannigfache Beziehungen bestanden. Stainer kam denn auch durch Empfehlung zu Nikolaus Amati, dessen Methode er sich zu eigen machte, und Amati wünschte, daß er dauernd bei ihm bleiben und seine Tochter heiraten möchte. Dies scheint die Veranlassung gewesen zu sein, daß Stainer heimlich entfloh und nach Venedig zu Vimercati ging. Später ließ er sich in seinem Geburtsort Absam nieder und errichtete hier schon in der ersten Hälfte der vierziger Jahren eine eigne Geigenmacherei, begünstigt durch die in der Nähe zahlreich wachsenden ausgezeichneten Hölzer, unter denen er vorzüglich die Haselfichte von dem Gebirgsrücken der Lafarsch und des Gleirsch mit großer Umsicht auswählte. Unter den Schülern und Gehilfen, die durch seinen Ruf angezogen wurden, befand sich auch ein gewisser Ägidius Klotz aus Mittenwald, einem Städtchen, welches wenige Stunden in nördlicher Richtung von Absam entfernt ist. Dieser Klotz, dessen Instrumente jetzt den Stainerschen fast gleich geachtet werden, begab sich nach Mittenwald zurück und erzog seinen Sohn ebenfalls zu einem Geigenbauer, den er mit den ausgezeichnetsten Erfahrungen bereichert ziehen lassen konnte, als derselbe zur Vervollkommnung seiner Kunst nach Italien ging. Hier besuchte der jüngere Klotz die berühmtesten Werkstätten und hielt sich namentlich in Cremona und Florenz längere Zeit auf. Zu Anfang der achtziger Jahre aber kehrte er nach Mittenwald zurück mit dem Plane, aus seinem Geburtsorte ein deutsches Cremona zu machen. Seine weit vorgeschrittene Bildung befähigte ihn, in seinen Schülern die rationellen Grundsätze, nach welchen die Fabrikation von Saiteninstrumenten in Italien betrieben wurde, Wurzel schlagen zu lassen. Es erhob sich in der That durch seine energischen Bestrebungen der damals fast verarmte Flecken rasch zu neuer Blüte, und jetzt, nach fast 200 Jahren, muß die ganze Gegend jenen Mann als ihren Retter segnen, für welchen übrigens selbst die musikalische Nachwelt im großen und ganzen nur ein dürftiges Gedenken zu haben scheint. Schaffhäutl hat in seinem trefflichen Bericht über die musikalischen


Fig. 527. Keltische Trompete.

Instrumente auf der Münchener Industrieausstellung 1855 den verdienstlichen Ursprung der Mittenwalder Instrumentenfabrikation zuerst in ein klares Licht gestellt, und wir folgen ihm als fast der einzigen Quelle in dieser Darstellung.

Mit Recht nennt er den Matthäus Kloß einen Engel in der Not. Der Umstand nämlich, daß die von Herzog Sigismund beleidigten Venediger Kaufleute den berühmten Boßener Jahrmarkt seit beinahe zwei Jahrhunderten nicht mehr besucht hatten, war für Mittenwald, wohin jene während dieser Zeit ihre Warenniederlagen verlegt hatten, die Quelle eines erheblichen Wohlstandes geworden. Im Jahre 1679 indessen hatte Boßen seine alte Messe wieder erhalten, und zugleich entstand eine neue Handelsstraße über Finstermünz, Fernstein und Reutte; dadurch aber vertrocknete der Lebensnerv Mittenwalds, und nur eine neue, naturwüchsige Industrie, wie sie Kloß und sein Sohn Joseph hervorriefen, konnte der gänzlichen Verarmung der Gegend steuern.



Fig. 528. Römischer Tubabläser.

Der früher beliebte und zur Zeit der Klöster auch zweckmäßigste Absatzbetrieb auf dem Wege des Hausierens war der erste von den Geigenbauern versuchte, die, ihre Erzeugnisse auf dem Rücken, damit von Haus zu Haus wanderten und — einfache Gebirgsbewohner — sich mit einem sehr unbedeutenden Verdienst begnügten. Indessen machten die veränderten Handelsverhältnisse doch bald eine rationellere Geschäftseinrichtung nötig. Kaufleute, sogenannte Verleger, sammelten allmählich die Fabrikate zu einem freilich sehr niedrigen Durchschnittspreis, und auf diese Weise haben sich jene bedeutenden Firmen entwickelt, welche heute die Mittenwalder Geigen nach allen Teilen der Welt versenden. Man erstaunt über die fabelhafte Billigkeit, welche die geringsten, aber immerhin noch gut gearbeiteten Sorten zeigen; eine Geige von 2 Gulden ist schon sehr hübsch, die billigsten kosten 9 Mark das Dutzend. Außer in Mittenwald bestehen noch in Markneukirchen und Klingenthal in Sachsen, ferner in Gohlis bei Leipzig, zu Graslitz und Schönbach in Böhmen und zu Mirecourt in Frankreich bedeutende Etablissements für Geigenbau.



Fig. 529. Römischer Buccinator.

Die Blasinstrumente. Die Geschichte der Blasinstrumente ist mit der Geschichte der Musik eng verbunden. In den ersten Anfängen bediente sich die Musik nur weniger Töne, und die ältesten Erfinder hatten bei Herstellung ihrer Instrumente eine verhältnismäßig leichte Aufgabe. Dasjenige Instrument, welches uns diesen kindlichen Zustand am augenscheinlichsten verkörpert, ist die sogenannte Syringe, Panflöte oder Hirtenflöte, eine Zusammenstellung mehrerer geschlossener Pfeifen, aus Rohrstücken gebildet, welche in ihrer Länge voneinander abweichen, so daß die tiefste Pfeife, die längste, in der Mitte sich befindet und nach beiden Seiten in absteigender Reihe die höheren und kürzeren sich anordnen. Sie findet sich jetzt bisweilen noch als ein Spielzeug der Kinder und wird angeblasen wie ein hohler Schlüssel, indem man den Luftstrom über die senkrechte Mündung streichen und gegen den Rand derselben stoßen läßt.

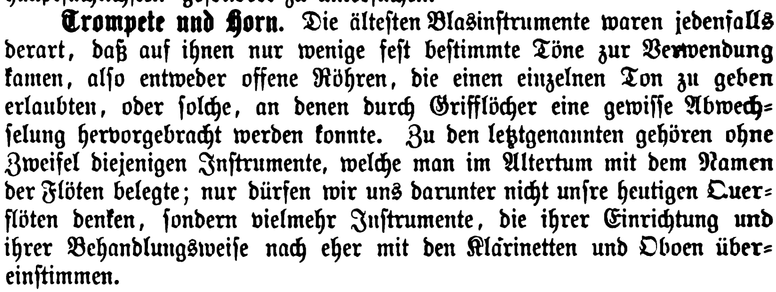
Sehr bald aber wurde auch von der Entfernung Gebrauch gemacht, daß sich eine Luftsäule, die in einer geschlossenen Pfeife schwingt, verkürzt, wenn man ihr Gelegenheit gibt, nach außenhin auszuweichen, ehe sie den Boden der Pfeife erreicht. Schneidet man also in eine Pfeife nach ihrer Länge verschiedene Löcher, so geben diese, einzeln geöffnet, beim Anblasen verschiedene Töne, welche offenen Pfeifen von der Länge der Entfernung, um welche das offene Ende von dem entsprechenden Loche absteht, entspricht. Diese Löcher

wurden gleich anfänglich so gebohrt, daß sie für gewöhnlich mit den Fingern verschlossen gehalten werden konnten; durch Öffnen eines oder des andern Griffloches konnte man den betreffenden Ton zum Ansprechen bringen. Unsre Flöte, Klarinette, Fagott u. s. w. sind Beispiele derartiger Instrumente, deren erste Anfänge wir schon in dem Haferrohr der Hirten wie im uralten Tscheng der Chinesen beobachten können.

Die ganze Reihe der Blasinstrumente teilt sich sonach in drei Hauptklassen von Instrumenten: in solche, welche nur einen einzigen Ton geben, gleichviel ob sie offene oder gedackte Pfeifen darstellen, und die wir bei der Orgel vertreten finden; in solche, welche bei gleichbleibender Länge der Röhre durch verschiedenes Anblasen mehrere Töne geben, wie die Trompete, das Waldhorn ꝛc., die kesselförmige Mundstücke haben, und in solche endlich, bei denen die verschiedene Tonhöhe durch jemalige Verlängerung oder Verkürzung der schwingenden Luftsäule erreicht wird. Die letzteren sind ihrer Natur nach untereinander wieder sehr verschieden, je nachdem durch eine wirkliche Veränderung der Röhrenlänge oder durch Seitenlöcher die Veränderung der Schwingung bewirkt wird. Eine nähere Betrachtung führt uns demnach auf verschiedenen Wegen weiter, und es wird unsre Aufgabe sein, die einzelnen Instrumente oder wenigstens die hauptsächlichsten gesondert zu untersuchen.



Fig. 530. Das Goldene Horn.



Trompete und Horn. Die ältesten Blasinstrumente waren jedenfalls derart, daß auf ihnen nur wenige fest bestimmte Töne zur Verwendung kamen, also entweder offene Röhren, die einen einzelnen Ton zu geben erlaubten, oder solche, an denen durch Grifflöcher eine gewisse Abwechselung hervorgebracht werden konnte. Zu den letztgenannten gehören ohne Zweifel diejenigen Instrumente, welche man im Altertum mit dem Namen der Flöten belegte; nur dürfen wir uns darunter nicht unsre heutigen Querflöten denken, sondern vielmehr Instrumente, die ihrer Einrichtung und ihrer Behandlungsweise nach eher mit den Klarinetten und Oboen übereinstimmen.

Die Trompete und das Horn — in ihren primitiven Formen identisch — scheinen in den natürlichen Modellen, welche Muscheln, Ochsenhörner u. s. w. abgaben, Ansprüche auf das größte Alter machen zu können. Wir finden in der Iliade das Geräusch des Kampfes mit dem Klange der Trompete (Salpinx) verglichen, und wenn uns auch keine bildlichen Überlieferungen aus jener Zeit überblieben sind, so läßt doch die Anschaulichkeit derartiger Vergleiche Vorstellungen von der Natur des Instruments machen. Die Griechen schon bedienten sich außer geraden Röhren zu ihren Trompeten auch noch gekrümmter, denn es hat auf die Eigentümlichkeit des Tones keinen Einfluß, ob die Schwingungen der Luftsäule in gerader Linie geschehen oder ob sie einen bogenförmigen Weg zu durchlaufen haben. Von dem Mundstücke an erweitert sich die Röhre konisch und verläuft endlich in einen kreisförmigen Ausgang von mehr oder weniger bedeutendem Umfange. In späteren Zeiten unterschied man je nach der äußeren Form verschiedene Instrumente, und es kam ihnen dem entsprechend eine verschiedene Verwendung zu. Mit den langen, geraden Trompeten z. B. wurde das Volk zum Opfer gerufen. Der vorderen weiten Öffnung, dem Schallbecher, gab man verschiedene Gestalt und, wie bei den keltischen Trompeten Carnon oder Carnix (s. Fig. 527), sogar die Form von abenteuerlichen Tieren. Auf der Trajanssäule in Rom finden wir mancherlei dergleichen Instrumente abgebildet. Die paphlagonische Trompete lief in einen Ochsenkopf aus, die medische in eine Art Glocke, ebenso die tyrrhenische oder etruskische. Die Römer bedienten sich der Trompete, die bei ihnen häufig eine gekrümmte Form erhielt, welche sie unserm Waldhorn ähnlich machte, im Kriege und nannten sie Tuba. Unsre heutigen Jagdhörner, welche beinahe kreisförmig gebogen sind, so daß sie unter dem linken Arme des Bläsers hindurchgehen und mit ihrem Schallbecher über den Kopf fast bis zum Mundstück wieder hinabreichen, erinnern noch an eine damals übliche Gestalt,

welche namentlich von der Reiterei benutzt wurde (Lituus). Ein pompejanisches Basrelief zeigt einen solchen Lituusbläser oder Buccinator (s. Fig. 529), der auf seinem Instrumente den Moment verkündet, wo die Gladiatoren vom Waffenkampf zum Faustkampf übergingen. Eine ähnliche Darstellung findet sich auf einer Gemme im Berliner Museum.

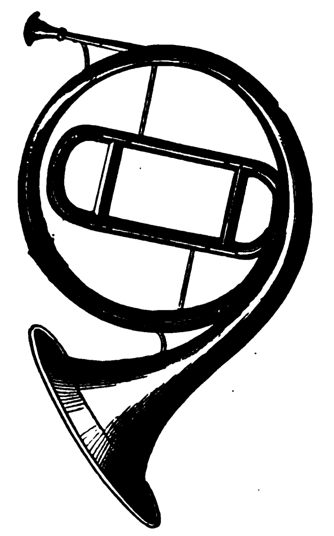


Fig. 531. Das Horn.

Die glänzende Klangfarbe aller hierher zählenden Instrumente macht dieselben vorzüglich für öffentliche Zwecke brauchbar. Es war bei den Römern ein Vorrecht Hochstehender, bei Trompetenschall begraben zu werden; der gemeine Mann mußte sich mit dem Spiel der Flöten begnügen. Ennius malt in seinem berühmten Hexameter

At tuba terribili sonitu taratantara dixit,

und Virgil in

At tuba terribilem sonitum procul aere canoro

das Hervorstechende des brillanten Tones in Worten.

In Ägypten schreibt man die Erfindung der Trompete dem Osiris zu, und wir finden auf alten Monumenten zahlreiche Darstellungen, welche den Gebrauch des Instruments sowohl im Kriege zum Marschieren der Truppen als auch zum Signalgeben und zum Zusammentreffen des Volkes zeigen. Von Ägypten aus wurden die Hebräer mit den Trompeten bekannt, denen sie in ihren religiösen Zeremonien eine große Rolle zuteilten. „Mache dir zwei Trompeten von dichtem Silber, daß du ihrer brauchest, die Gemeinde zu berufen und wenn das Heer aufbrechen soll; die Söhne Aarons, die Priester, sollen solches Blasen thun“, heißt es im vierten Buche Mosis; und nach der Schilderung scheinen bei der Erstürmung Jerichos auch trompetenähnliche Instrumente — Koherims, weil sie aus Ochsenhörnern gefertigt waren — im Gebrauch gewesen zu sein. Die gerade Form dieser Instrumente gehört wahrscheinlich einer sehr alten Zeit an; wir finden sie fast ausschließlich auf den uns überlieferten Monumenten dargestellt. Die in einem Halbzirkel gekrümmten Formen treffen wir zuerst bei den Ägyptern und Lydern.



Fig. 532. Ventilhörner von A. Sax in Paris.

Die Chinesen bedienten sich kupferner Instrumente, deren Erfindung sie in der Zeit Fu-His, 2950 v. Chr., versetzen. Die Fig. 530 veranschaulicht uns das berühmte Goldene Horn, ein metallenes Instrument mit kunstreich verzierter Oberfläche. Bei den Hindus finden wir ähnliche Instrumente ebenfalls aus den frühsten Zeiten schon erwähnt; und wenn unter den verschiedenen Völkern infolge abweichender ästhetischer Begriffe sich die Form auch allmählich verändert hat, und dadurch sowohl als durch Verwendung andern Materials zur Herstellung schließlich nicht nur das äußere Ansehen, sondern auch die Klangwirkung sich so änderte, daß die verschiedenen Formen oft wenig mit dem gemein haben, was wir ausschließlich Trompete nennen, so ist doch das Prinzip aller dieser Instrumente dasselbe.

In den trompetenähnlichen Instrumenten schwingt eine Luftsäule von bei weitem größerer Länge als Dicke; durch die verschiedene Stärke des Anblasens kann dieselbe gezwungen werden, sich in aliquote schwingende Teile zu teilen

und dadurch die Töne der diatonischen Tonleiter hervorzubringen. Aus diesem Grunde zählen wir hierher nicht nur die eigentlichen alten Trompeten, sondern auch das Horn, d. h. diejenige Form, welche durch ihren deutschen Namen Waldhorn auf ihre Ursprünglichkeit hinweist.

Da die ersten Töne, welche man auf derartigen Instrumenten erzeugen kann, sehr weit auseinander liegen, und zwar der zweite um eine Oktave, der dritte um eine Duodezime, der vierte um zwei Oktaven höher ist als der Grundton, so sind diejenigen Obertöne, welche nahe genug zusammmen liegen, um allen musikalischen Anforderungen zu genügen, schon Töne sehr hoher Ordnung, und um sie in wünschenswerter Reinheit und Stärke hervorzubringen, muß, wie gesagt, der Röhre eine sehr große Länge gegeben werden. Das Waldhorn hat eine Röhrenlänge von 6 m und stimmt in $\overline{\text{Es}}$. Dieser Ton aber sowie sein nächster Oberton Es werden nicht benutzt, wohl aber die höheren Töne B, es, g, b, des', es', f', g', as', a', b' 2c. Diese große Länge des Rohres bedingt die gewundene Form, welche allerdings bei der Herstellung bedeutende Schwierigkeiten verursacht.

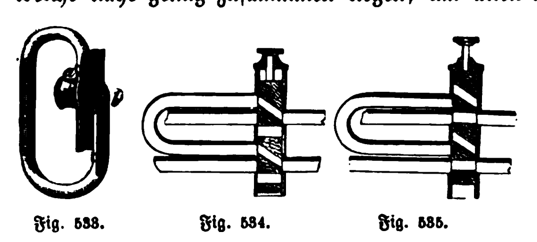


Fig. 533. Fig. 534. Fig. 535.

Es würde kaum möglich sein, ohne weiteres einen langen Blechstreifen so zusammenzulöten, wie es die Röhre eines Waldhorns oder einer Trompete zeigt, ohne daß Falten und Buckeln darin vorkommen, welche den Ton sehr nachteilig beeinflussen. Man erreicht dies aber, indem man erst eine gerade Röhre herstellt, dieselbe überall auf das sorfältigste verlötet und aushämmert, sie darauf mit geschmolzenem Blei ausfüllt und den erkalteten starren Körper, der mit der Röhre eine einzige zusammenhängende Masse bildet, in die verlangten Windungen biegt. Die dabei entstehenden Unebenheiten lassen sich durch Hämmern leicht beseitigen. Schließlich schmilzt man das Blei wieder durch Erhitzung aus.

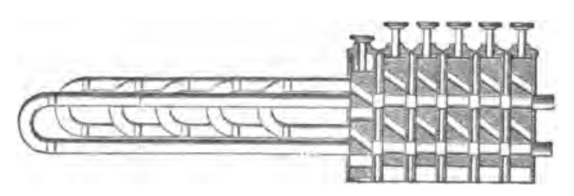


Fig. 536. Instrument mit sechs Pistons.

Wenn man von älteren gekrümmten Hörnern spricht, so meint man damit vorzugsweise solche, die im Halbkreis gebogen sind. In dem Büffelhorn, dem Hift- oder eigentlich Hiefhorn der Jäger und dem gegenwärtigen englischen Buglehorn (von bugle, wilder Ochs), haben sich dergleichen alte Formen noch erhalten. Die Biegungen in Vollkreisen und Ellipsen dagegen sind seit dem Anfang des 16. Jahrhunderts in allgemeinem Gebrauch. Das Waldhorn wurde bei uns zu Anfang des vorigen Jahrhunderts aus Paris durch den in Böhmen angesessenen und durch seine wunderliche Lebensweise bekannten Grafen Franz Spork eingeführt.

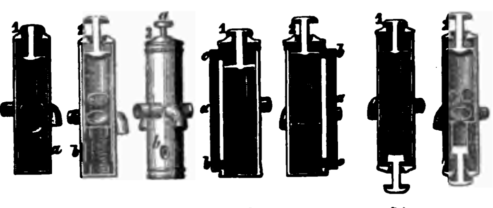


Fig. 537. Fig. 538. Fig. 539.
A. Sax' Cylindereinrichtung.

In der Musik spielen die Metallblasinstrumente ohne Seitenlöcher eine große Rolle. Bis zu Händels Zeit, wo die Harmonie eine bei weitem einfachere war und die Komponisten eine verhältnismäßig kleine Zahl von orchestralen Effektmitteln kannten, war der Trompete mit der Violine die Melodieführung zugeteilt. Die helle Klangfarbe qualifizierte sie dazu besonders. „Trummett ist ein herrlich Instrument, wenn ein guter Meister, der es wohl und künstlich zwingen kann, darüber kömpt", sagt Michael Prätorius zu Anfang des 17. Jahrhunderts. Später aber verwandte man sie mehr ihrer Tonfarbe wegen, und ihre Stimmen wurden demgemäß mehr in die Mitteltöne gelegt. Dadurch hat aber die Kunst

des Trompetenbläsers entschiedene Rückschritte gemacht, so daß nur wenige der heutigen Trompeter den Zumutungen, welche Händel noch an ihre Leistungen stellt, gerecht werden können. Namentlich scheint sich die Kunst, die höheren Trompetentöne leicht hervorbringen zu können, verloren zu haben, so weit, daß Mozart schon bei Instrumentierung des Händelschen „Messias“ die Trompetenpassagen an verschiedene Instrumente verteilen mußte.

Die fortschreitende Entwickelung der harmonischen Musik, welche mit der diatonischen Tonleiter sich nicht begnügen kann, mußte auf Versuche führen, um die Luftsäule im Innern des Instruments beliebig verlängern oder verkürzen zu können und dadurch die zwischenliegenden chromatischen Töne hervorzubringen.

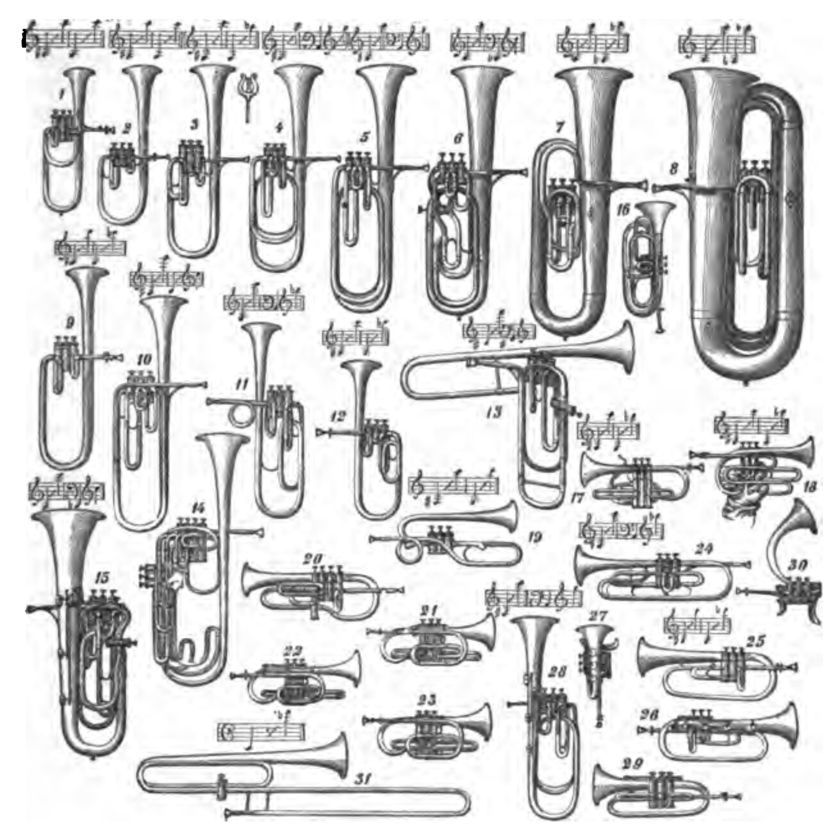


Fig. 540. Metallblasinstrumente von A. Sax in Paris. — 1 Saxhorn (scharf). 2 Sopranhorn. 3 Althorn. 4 Alttromba. 5 Baritontromba. 6 Baßhorn. 7 Kontrabaß. 8 Schwerer Kontrabaß. 9 Kontra-Alt. 10 Trombone à pistons. 11 Trompette à cylindres. 12 Cornet à pistons. 13 Trombone à pistons. 14 Saxtrombone mit sieben Pistons. 15 Baß-Saxhorn. 16, 17 und 18 Cornet à pistons. 19 Cornet à cylindres. 20 Saxhorn. 21 Cornet à pistons à deux clés. 22 Saxotromba alto à clés et à pistons. 23 Cornet à pistons. 24 Trompette à cylindres. 25—30 Saxhorn et Instruments à pistons avec addition de clés. 31 Trombone (Posaune).

Bei dem Waldhorn, welches einen sehr weiten Schallbecher hat (s. Fig. 531), konnte man zwar durch Verengerung desselben mit der Faust (Stopfen) die Töne in bezug auf Höhe und Tiefe bis zu einem gewissen Grade verändern, allein bei der Trompete war dies Mittel nicht anwendbar, und man mußte jenen Zweck auf andre Weise zu erreichen suchen. Um den Grundton des Instruments zu verändern, z. B. um das C-Horn in ein Es-Horn, F-Horn u. s. w. zu verwandeln, brachte man Einsatzstücke an, sogenannte Krummbogen, welche unter das Mundstück aufgesetzt wurden und die Röhre um die entsprechende Länge vergrößerten. Nach Prätorius hat es gegen 1600 nur eine einzige „Trommet, vulgo Tarantara der Feldtrummter in d“ gegeben. „Nur vor gar wenig Jahren“, schreibt er 1619, „hat man sie bei etzlichen Fürsten und Herren Höffen an der

Mensur verlängert, oder aber Krumbbügel ferner darauf gesteckt, daß sie ihren Baß um einen Ton tieffer in Modum hypojonicum gestimmt."

Indessen half dies immer nur, wo eine Änderung der ganzen Tonart eintrat, die innerhalb derselben fehlenden Halbtöne konnten natürlich damit nicht erzielt werden. Man erreichte diese Absicht zuerst durch die beweglichen Schieberöhren, welche luftdicht ineinander gingen und beim Herausziehen die schwingende Luftsäule verlängerten, beim Hineinstoßen sie verkürzten und den Grundton erhöhten.

Auf diese Weise entstand aus der Trompete die Posaune. Im Prinzip sind beide Instrumente vollkommen gleich, und wenn in der Posaune die Stellung der Röhren zu einander fixiert wird, so stellt sie in der That nur eine Trompete von großer Röhrenlänge, demnach von einem tieferen Grundtone dar.

Bei dem Waldhorn versuchte man dieser Idee ebenfalls Eingang zu verschaffen, und die sogenannten Inventionshörner, welche Anton Joseph Hempel in Dresden 1754 erfunden hat, sind dafür die ersten Belege. Indessen war die Bewegung der Röhren zu schwerfällig, so daß man davon wieder Abstand nahm, und um so lieber, als Clagget in England zu Ende des vorigen Jahrhunderts und Heinrich Stötzl aus Pleß in Oberschlesien 1815 mit der Hauptröhre des Instruments mehrere in dieselbe mündende Nebenröhren verband und dadurch, daß die Zugänge zu denselben beliebig mittels Ventile, Wechsel, geöffnet werden konnten, die schwingende Luftsäule im Innern um die entsprechenden Längen vergrößerte.

Die Wechsel wurden durch die Finger gestellt. Zuerst brachte Stötzl an seinem Horn bloß zwei solcher Wechsel an, von denen der eine die Luftsäule gerade um einen halben Ton tiefer stimmte und somit die chromatische Tonleiter bis auf das gis schon hervorbringen ließ. Um auch das gis zu erreichen, mußte noch ein dritter Wechsel eingeführt werden. Dies geschah 1830 durch Müller in Mainz, und damit war das Ventilhorn in seiner heutigen Form erfunden.

Der Mechanismus, durch welchen man die verschiedenen Röhrenstücke miteinander in Verbindung setzt, ist verschieden. Bei den deutschen Instrumenten bestand derselbe im wesentlichen aus einem doppelt durchbohrten Hahn, wie wir einen solchen bei der Luftpumpe kennen gelernt haben, und Fig. 533 zeigt uns die Art der inneren Röhrenverbindung. Die Drehung desselben wird durch ein Clavis bewirkt, welches auf der Achse des Hahnes rechtwinkelig befestigt ist und mit dem Finger regiert wird. Leichte Beweglichkeit und völlig luftdichter Verschluß sind aber auf diese Weise nur mit Schwierigkeiten zu erreichen, und Meifried in Paris wollte deswegen statt der drehenden Hähne senkrecht sich bewegende, durchbohrte Cylinder angewandt wissen, eine Idee, welche Adolf Sax, Hornist und Metallblasinstrumentenmacher zu Brüssel, 1833 zur Ausführung brachte. Es wird die Art, wie dieser Mechanismus wirkt, ebenfalls am besten sich durch Abbildung verdeutlichen lassen, und wir geben in Fig. 534 einen Durchschnitt, in welchem die Stellung der Pistons die Nebenröhren absperrt; in Fig. 535 einen solchen, wo durch Niederdrücken der Cylinder die Nebenröhren eingeschaltet werden, und in Fig. 536 die Ansicht des inneren Mechanismus eines Instruments mit sechs Pistons.

Wie man aus diesen Abbildungen sieht, muß aber der Luftstrom, wenn er die Durchbohrung des Pistons passiert, einen ziemlich scharf gebrochenen Weg durchlaufen, wodurch die Ansprache des Instruments nicht nur erschwert, sondern auch die Reinheit des Tones beeinträchtigt wird. Sax, der sich mittlerweile nach Paris gewendet hatte, verwandelte den festen und nur mit zwei engen Schubröhrchen versehenen Stempel in einen inwendig hohlen Cylinder, welcher an den mit den betreffenden Röhren kommunizierenden Stellen Durchbohrungen hatte, und dadurch, daß die Luft hier einen unverhältnismäßig größeren Raum zum Ausweichen erhielt, wurde der Ton allerdings weicher und reiner. Die Fig. 537 bis 539 geben uns diese Einrichtung von verschiedenen Seiten gesehen: von außen, durchschnitten und mit verschiedener Stellung des Cylinders, so ausführlich, daß eine weitere Erklärung überflüssig erscheint.

Sax hat nach seinem Systeme fast alle Blasinstrumente eingerichtet, und von welchem Reichtum der Formen sein Lager ist, möge die Abbildung Fig. 540 zeigen, welche einen

Teil der Saxschen Metallblasinstrumente zur Anschauung bringt, wie solche auf den Pariser Weltausstellungen zu ackergroßen Tableaus zusammengestellt waren. Übergänge aus der einen Form in die andre und die Kombination der Eigentümlichkeiten verschiedener derselben geben den Instrumenten ein Aussehen, welches mit dem der ursprünglichen Trompete oder dem alten Horn nur wenig Ähnlichkeit hat. Für diese verschiedenen Produkte sind ebenso verschiedene Namen erfunden worden: Saxhorn, Ophikleide, Baroxyton, Euphonion u. s. w., an deren Aufzählung wir, wenn wir sie versuchen wollten, der Reichhaltigkeit wegen scheitern würden.

Bei einem Vergleiche würden die Leser die Überzeugung gewinnen, daß die deutschen Instrumente in keiner Weise hinter den Saxschen zurückstehen. Namentlich hat sich W. F. Cerveny in Königgrätz durch die fortgesetzte Vervollkommnung seiner Instrumente einen berühmten Namen gemacht. Er war es, der die ältere enge Bauart aller Blechblasinstrumente, bei welcher der Grundton gar nicht zur Ansprache gebracht werden konnte, verließ, und seinen Instrumenten einen weiteren Durchmesser gab, wodurch er eine reine und volle Ansprache des Grundtones ermöglichte. Das ist insofern ein großer Fortschritt, als sich die Röhre der Instrumente für tiefe Töne um die Hälfte verkürzen ließ.

Die deutschen Instrumentenmacher haben hier und da anstatt der Saxschen Cylinder die Hähne beibehalten, welche, weil der doppelt durchbohrte Kern nicht sehr hoch ist, sondern mehr die Form einer starken Scheibe oder eines Rades hat, Radlmaschine genannt werden. Die Durchbohrung verläuft in Bogen, so daß die Luftsäule auf diese Weise auch vor gewaltsamen Stauchungen bewahrt ist. Das „Radl“ erhielt von Cerveny nicht bloß zwei, sondern bis sechs Durchbohrungen, und er benutzte derartige Vorrichtungen, um das Instrument damit umzustimmen. Die früher gebräuchlichen und jedesmal auf- und wieder abzusetzenden Krummbogen wurden dauernd mit dem Instrument verbunden und durch entsprechende Stellung der Tonwechselmaschine, des Radls, in die schwingende Röhre eingeschaltet.



Fig. 541. Altdeutsche Musikanten mit Blasinstrumenten. Nach Jost Amman.

Klarinette, Oboe, Fagott u. s. w. Der schwingende Körper, welcher die Luftsäule in der Trompete, Posaune, dem Waldhorn u. s. w. zum Tönen bringt, sind die elastischen Lippen unsres Mundes. Sie vibrieren in dem kesselförmigen Mundstücke, und die Dimensionen des letzteren sind deswegen von großer Wichtigkeit für die Behandlungsweise des Instruments. Eine andre Klasse von Instrumenten gibt es aber noch, bei denen der schwingende elastische Körper mit der Röhre fest verbunden ist und aus einer vibrierenden Zunge, dem sogenannten Blatte, besteht, welches durch seine rasch aufeinander folgenden Schläge den durchgetriebenen Luftstrom abwechselnd zusammendrängt und wieder auseinander zieht, verdichtet und verdünnt und auf diese Weise die Wellenbewegung veranlaßt.

Der Urtypus dieser Instrumente liegt in dem hohlen Schaft des Löwenzahns, Leontodon taraxacum, welchen die Kinder, indem sie ihn an dem einen Ende flach zusammendrücken, zu einer Pfeife gestalten. Klarinetten, Fagott, Oboe, Schalmei und die diesen ähnlichen Instrumente bestehen sämtlich aus einer teils cylindrischen, teils konischen Röhre, die nach obenhin in das Mundstück mit dem schwingenden Blatt, nach untenhin in den erweiterten Schallbecher übergeht. Die Klarinette hat nur ein schwingendes Rohrblatt, die Oboe und das Fagott haben zwei dergleichen Blättchen. Das Mundstück der Klarinette ist

deshalb in seinem nicht schwingenden Teile von größerer Dicke, während die beiden andern genannten Instrumente einen langen, ganz dünnen Schnabel besitzen. Die Blättchen bestehen bei ihnen gewöhnlich aus ganz dünn geschabtem Zuckerrohr.

Jedes solche Instrument würde — abgesehen von seinen Obertönen — nur einen einzigen Grundton haben, wie das Röhrchen des Löwenzahns. Da damit aber in der Musik wenig anzufangen wäre, so hat man den Holzkörper der Röhre, welcher sich nicht leicht auf ähnliche Weise wie das Metallrohr der Posaune verlängern und verkürzen lassen würde, in seiner Länge mit Löchern durchbohrt, durch welche, wenn sie geöffnet sind, die schwingende Luftsäule mit der äußeren Luft in Verbindung steht und also die Länge derselben verkürzt werden kann. Beim Spiel werden diese Öffnungen, Grifflöcher, mit dem Finger geschlossen gehalten und nach Bedürfnis geöffnet. Die ganze Röhre mit den geschlossenen Öffnungen gibt den tiefsten Ton; wird das dem Mundstück zunächst liegende Griffloch geöffnet, so entsteht der höchste Grundton. Mit diesen Tönen allein ist aber die Reihe der möglichen und nutzbaren Effekte nicht abgeschlossen, vielmehr lassen sich auch die schwingenden Aliquotteile der Luftsäule ausnutzen und eine ähnliche Reihe von Obertönen hervorbringen, wie bei den Metallblasinstrumenten.

Wohl das älteste Instrument dieser Art ist die Sackpfeife oder der Dudelsack, freilich auch das unvollkommenste. Eine Pfeife mit einzelnen Grifflöchern ist mit ihrem Schnabel in einen luftdichten Lederschlauch eingefügt, der sich durch ein andres Rohr aufblasen und durch Druck mittels des Armes wieder entleeren läßt. Die ausströmende Luft bewirkt das Tönen, und je nachdem der Arm stärker oder schwächer auf den Schlauch drückt, klingt die Pfeife auch mit verschiedener Intensität. Eine kleine Kapsel, die über den Schnabel geschoben ist, schützt diesen vor Verletzungen und dient dem Luftstrom zur Leitung. Der Dudelsack ist ein sehr verbreitetes Instrument. Von den Juden und Griechen kam es zu den Römern; jetzt spielt es noch in der Nationalmusik namentlich der Schotten und Polen eine Rolle. Die Schotten haben es mit in die Kolonien verpflanzt, und in Amerika und Australien erfreut es sich noch einer ziemlichen Pflege. Seine Herstellung ist sehr einfach und dieselbe geblieben, welche schon im schönen Griechenland üblich war, wo auf der Fleischseite gegerbte Widderfelle, welchen man aber die Haare nebst dem gehörnten Kopf gelassen hatte, zur Anfertigung dienten, nur mußten alle Öffnungen dicht vernäht sein.

Die Sackpfeife ist ein Instrument für Hirten, und für höhere Musikzwecke seiner Armseligkeit wegen nicht geeignet. Nicht nur der geringe Tonumfang, sondern namentlich auch die Unmöglichkeit, eine künstlerische Abstufung von Forte und Piano hervorzubringen, mußten es den höheren Kulturstufen entfremden. Jedes Blasinstrument erhält erst Seele durch den menschlichen Mund, und es konnten daher nur diejenigen, welche direkt von den Lippen angeblasen werden, eine höhere Vervollkommnung im Laufe der Zeit empfangen.

Die Oboe ist jedenfalls im Prinzip zurückzuführen auf die Naturpfeifen, wie sie aus zarten, an dem einen Ende plattgedrückten Rinden junger Zweige sich darstellen lassen, und damit wohl eins der ältesten Instrumente überhaupt. Wir finden bei den alten Griechen die Syrinx, welche der Beschreibung nach eine unvollkommene Oboe gewesen sein muß. Die Schalmei (Chalumeau, die Hirtenpfeife, von calamus, das Rohr) ist aber für die jetzige Form des Instruments als der letzte Vorläufer anzusehen.

Der Name Oboe, Hoboe, stammt aus dem Französischen von Hautbois, weil der Körper des Instruments von Holz angefertigt wird und es vor Erfindung der Klarinette die Melodie allein zu führen hatte. Seiner Einrichtung nach besteht es aus einer konischen Röhre, welche sich unten etwas erweitert. Hatte man an den frühsten Instrumenten, zu denen wahrscheinlich auch die fistulae und die tibiae der Alten zu zählen sind, die Grifflöcher direkt mit den Fingern zu bedecken, und konnte man der Natur der Sache nach nicht mehr als höchstens acht Tonlöcher anbringen, so mußte ein wesentlicher Umschwung geschehen, als man dahinter kam, auch noch Tonlöcher durch Klappen verschlossen zu halten und dieselben durch den Druck mit dem Finger zu öffnen. Man vermochte dadurch die Zahl der Tonlöcher zu vermehren, und die jetzigen Instrumente haben in der Regel 16 Klappen. Die Behandlung nicht nur, sondern auch die Herstellung des Instruments überhäufte sich aber dadurch mit Schwierigkeiten, und in der That gehört eine Oboe, welche alle verlangten

Töne rein hervorzubringen erlaubt, zur Zeit noch unter die Gegenstände frommer Wünsche. So viel auch daran verbessert und erfunden worden ist, so gibt es immer eine Menge Töne, welche bald zu hoch, bald zu tief sind, und die nur einigermaßen zu purifizieren der Bläser zu allerhand Vorteilen seine Zuflucht nehmen muß. Die Tonlöcher stehen durchaus nicht an der Stelle, wo sie den physikalischen Gesetzen gemäß hingehören, und nur eine vollständige Umgestaltung des Systems, wie sie von Böhme auf ganz rationelle Weise geschehen ist, kann den Mängeln abhelfen, welche zu umgehen den Bläsern so große Schwierigkeiten macht.

Das englische Horn hat in bezug auf Einrichtung und Klangfarbe mit der Oboe die größte Ähnlichkeit. Der eigentümliche näselnde Ton wird in beiden Instrumenten durch die Anwendung zweier Blättchen bedingt. Der Tonumfang des englischen Hornes ist derselbe wie bei der Oboe, von c chromatisch durch $1^1/_2$ Oktave, allein die höheren Töne werden nicht benutzt. Der Körper bildet nicht eine gerade Röhre, sondern hat etwas über der Mitte ein Knie. In der älteren Musik führt das Instrument den Namen Oboi di Caccia.

Das Fagott oder der Schalmeienbaß ist das dritte Instrument dieser Reihe. Es reicht von B bis zum g'' und besitzt acht Tonlöcher, von deren Stellung aber dasselbe, ja noch in verstärktem Maße gilt, was von der Oboe gesagt worden ist. Man kann mit Schafhäutl das Fagott in seiner heutigen Gestalt das am allerunvollkommensten eingerichtete Instrument nennen, und dennoch ist es seiner herrlichen Wirkung wegen nicht zu entbehren. Seine Behandlung erfordert aber deshalb die größte Meisterschaft. Die Röhre des Fagotts ist $2,_{62}$ m lang; dadurch wurde die gebogene Form des Instruments bedingt.

Die drei genannten Blasinstrumente sind noch mannigfach abgeändert in verschiedenen Dimensionen ausgeführt und mit verschiedenen Namen bezeichnet worden.

Die Klarinette ist ein verhältnismäßig junges Instrument, denn sie wurde erst im Jahre 1696 von Christoph Denner in Nürnberg erfunden. Sie hat nur ein einziges vibrierendes Rohrblatt, welches länger und stärker als das der Oboe ist. Der Durchmesser der Röhre ist auch weiter als bei dem letztgenannten Instrument, und dadurch verliert ihr Ton einerseits den näselnden Charakter, anderseits aber erhält er eine größere Fülle.

Eine eigentümliche Folge ihrer Einrichtung ist, daß durch verschiedenen Ansatz die geradzahligen Obertöne, welche bei den übrigen Instrumenten leicht zur Ansprache gebracht werden können, nicht erscheinen, daß vielmehr als erster Begleitton der dritte, dann der fünfte u. s. w. Oberton auftritt. Die Oktaven können daher nicht mit denselben Griffen hervorgebracht werden, und es machte dieser Umstand die Anbringung eines zweiten Systems von Tonlöchern notwendig. Iwan Müller, der die Klarinette verbesserte, gab ihr 13 Klappen; dies genügt zwar, um aus allen Tonarten spielen zu können, allein es bleiben doch viele Töne unrein, und eine gründliche Umgestaltung würde für die ausübenden Künstler von den wesentlichsten Vorteilen sein. Früher benutzte man in der Musik eine größere Anzahl von Klarinetten, mit denen man beim Wechsel der Tonarten ebenfalls abwechseln mußte. Jetzt bedient man sich gewöhnlich nur der C-, D- und A-Klarinetten.

Die Klangfarbe der Klarinette hängt mit dem Ausfallen der geradzahligen Obertöne zusammen. Analysiert man nämlich einen Klarinettenton, z. B. C, so findet man ihn nicht aus seinen natürlichen Obertönen C c' g' c'' e'' g'' b'' c''' d''' e''' u. s. w. zusammengesetzt, wie es bei der Oboe noch der Fall ist, wo nur die Töne c' c'' g'' c''' u. s. w. schwächer als die dazwischen liegenden klingen, sondern der Klang besteht lediglich aus der Tonreihe C g' e'' b'' d''' u. s. w. Der Klarinettenschnabel ist übrigens in neuerer Zeit einer Anzahl von Instrumenten beigegeben worden, welche in ihrer sonstigen Einrichtung mehr gewissen Metallblasinstrumenten entsprechen, und dadurch ist eine Reichhaltigkeit auch in dies Gebiet der Musikmittel gekommen, die durch die beigegebene Abbildung (Fig. 542) Saxscher Instrumente am besten veranschaulicht wird.

Die Flöte. Eine neue Instrumentgattung, ihrer Tonerregungsweise nach, sehen wir da verkörpert, wo die Luft im Innern der Röhre nicht durch vibrierende elastische Körper, sondern durch den Anprall, den sie an entgegenstehenden Kanten erleidet, abwechselnd verdichtet und verdünnt wird, wodurch die damit zusammenhängende Luftsäule in Schwingungen gerät. Ein hohler Schlüssel, den wir mit unserm Munde anblasen, versinnlicht uns

diejenige einfache Form, welche in der alten Panflöte in der primitivsten Art der Muse der Musik dienstbar gemacht wurde. Wir bezeichnen die Instrumente, die sich auf das Prinzip gründen, als flötenartige. Übrigens sind diejenigen, welche man aus dem Altertum unter dem Namen „Flöte" anführt, damit nicht zu verwechseln. Schon die alte Mythe, nach welcher Pallas Athene die von ihr erfundene Flöte wegwarf und den verfluchte, der sie wieder aufheben würde, weil die Göttin, von Juno und Venus verlacht, erst in einer Quelle des Ida gewahr geworden war, wie lächerlich und häßlich sie durch die beim Spiel ihres Instruments aufgeblasenen Backen geworden, weist darauf hin, das dasjenige, was die Alten mit dem Wort aulos bezeichneten, durchaus nicht mit unsrer Flöte zu verwechseln ist. Noch mehr aber hätte die oft erwähnte Thatsache, daß die alten Virtuosen, um beim Spiel der Flöte die Blasekraft zu verstärken, um die Backen und um den Mund eine lederne Binde, einen Backenriemen legten, auf die Vermutung führen müssen, daß der Aulos der Alten mehr Ähnlichkeit mit unsrer Oboe oder mit der Klarinette gehabt haben müsse. In der That sehen wir auch in den alten Darstellungen die sogenannte Flöte als konisches Instrument mit drei bis fünf Grifflöchern und an dem unteren Ende häufig mit einem Schallbecher versehen.

Es scheint, als ob die Flöte in ihrer heutigen Gestalt eine deutsche Erfindung sei, welche aus der sogenannten Schwegel- oder Schweizerflöte entstanden ist. Die Regimentsmusik bestand in früheren Zeiten aus Trommlern und Pfeifern. Die letzteren bliesen cylindrische Instrumente, welche anfänglich nur sechs Tonlöcher hatten. Das siebente Loch für den Daumen kam erst später hinzu, und das achte wurde von dem berühmten Flötenvirtuosen Quanz zugegeben. Das Prinzip der Flöte ist demnach ein ungemein einfaches, und es liegt darin der Grund des reinen, zarten Tones, welcher freilich etwas Kränkliches an sich hat, infolgedessen das Instrument vorzugsweise in der Sentimentalperiode Geßnerscher Idyllen bevorzugt wurde. Für den musikalischen Gebrauch hat aber diese Einfachheit der Einrichtung ziemliche Hindernisse im Gefolge, denn da man mit bloß acht Tonlöchern eine Reihe von mindestens einigen dreißig Tönen hervorbringen muß, so verwickeln sich auch hier durch die notwendig werdende Behandlungsweise die akustischen Verhältnisse in einer Art, daß die Töne nicht nur leicht unrein werden, sondern daß sogar ihre Hervorbringung dem Spieler große Schwierigkeiten darbietet. Der Bau der Flöte ist deswegen auch als eine der schwierigsten Aufgaben des Instrumentenbaues überhaupt zu betrachten, und in der That sind die dabei einschlagenden Fragen erst in neuerer Zeit durch Böhme in München gelöst worden. Böhme erhöhte die Zahl der Tonlöcher, indem er deren 14, von c' bis c", anbrachte, dieselben genau an die Stelle setzte, wo sie der Berechnung nach stehen mußten, und ihnen einen möglichst großen Durchmesser gab. Das letztere war vorzüglich notwendig, um die Mitwirkung des über das Griffloch hinaus liegenden unteren Flötenteiles mit der darin eingeschlossenen Luftsäule unschädlich zu machen, denn je kleiner die Öffnung ist, durch welche die innere Luftsäule mit der äußeren in Verbindung steht, um so unvollständiger wird die Absicht erreicht werden, nach welcher die Flöte eine offene Pfeife darstellen soll, welche bis an diesen Punkt des Griffloches reicht. Da diese 13 Grifflöcher natürlich weder mit den Fingern erreicht, noch auch sämtlich hätten geschlossen werden können, so bedeckte Böhme dieselben mit Klappen, zu deren Öffnung er einen besonderen Mechanismus anbrachte.

Bei den Flöten nach den älteren Systemen war die Zahl, Anordnung und Größe der Grifflöcher durch die Einrichtung der Hand bedingt; da sich nun aber die Gesetze einer schwingenden Luftsäule nicht nach solchen Verhältnissen umändern können, so mußte von der einfachen Form zum großen Nachteil der Klangwirkung abgewichen werden, und die Flöte war schließlich eine sehr verwickelte Kombination von konischen und cylindrischen Röhrenstücken geworden, voller Fehler und Mängel, die einigermaßen auszugleichen eine große Meisterschaft der Behandlung verlangte. Die fehlenden Halbtöne wurden durch ganz eigentümliche Hilfsmittel hervorgebracht, so daß man zum Beispiel die Wirkung zweier nebeneinander liegender Tönlöcher kombinierte und so einen Ton um das fehlende Intervall notdürftig in die Höhe schob oder herabzog. Das sind jedenfalls Unvollkommenheiten, allein es kann nicht geleugnet werden, daß sie dem Instrumente etwas Individuelles gaben,

das die mathematisch korrekten Flöten nach Böhme verloren haben, und dem ebenso wie den gestopften Tönen des Waldhornes gegenüber den gleichmäßig rein ansprechenden des Klappenhornes eine gewisse Poesie der Ursprünglichkeit innewohnte. „Wie es menschliche Schwächen gibt“, sag, Hanslick, „die wir liebenswürdig finden, so gibt es auch in Musikinstrumenten Unvollkommenheiten, die in der Hand des Meisters zu neuen Reizen werden.“ Freilich aber, müssen wir hervorheben, nur in der Hand des Meisters. —

Böhme machte sich von jenen Übelständen frei, indem er die Flöte zu einem einfachen akustischen Apparat gestaltete, dessen Wirkung sich auf das genaueste berechnen ließ. Er trennte die Klappen von den Griffblättern und ordnete die letzteren für die Hand bequem an einer Längenachse, von welcher aus sie mittels beliebig langer, gebogener Hebel die Tonlöcher öffnen und schließen. Außerdem aber gab er allen Teilen die vollkommenste mechanische Ausführung.

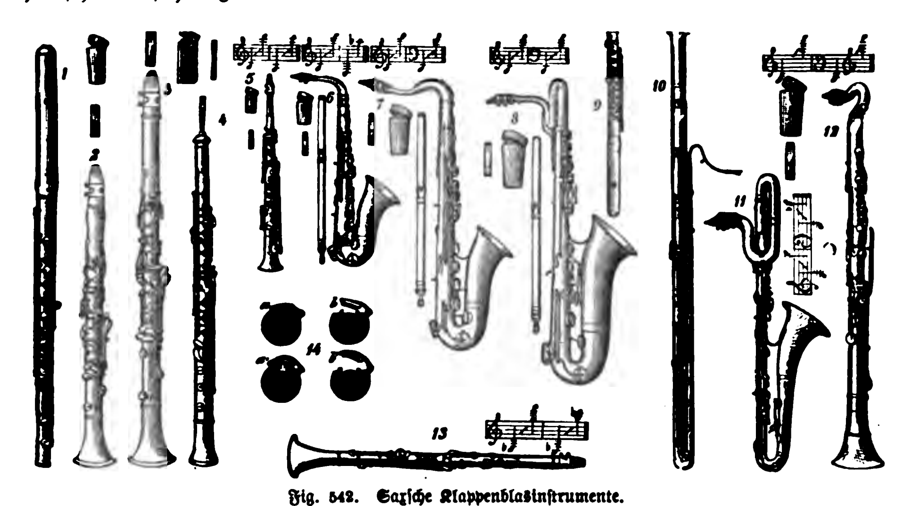


Fig. 542. Saxsche Klappenblasinstrumente.
1 Flöte. 2 und 3 Klarinette. 4 Oboe. 5 Saxophone, Sopran. 6 Saxophone, Alt. 7 Saxophone, Tenor. 8 Saxophone, Bariton. 9 Flöte. 10 Fagott. 11 Kontrabaßklarinette. 12 Baßklarinette. 13 Klarinette, System Sax. 14 Klappenverschlüsse.

Das Böhmsche System hat in der letzten Zeit immer größere Berücksichtigung gefunden; es ist von dem Erfinder selbst auf die übrigen, namentlich die Holzblasinstrumente, mit gleich ausgezeichnetem Erfolge angewandt worden, und es steht zu hoffen, daß es endlich die älteren Einrichtungen ganz und gar verdrängen wird. In Frankreich hat man dasselbe bereits fast ausschließlich adoptiert, und die erweiterte Anwendung hat zu zahlreichen Konstruktionen von Klappeninstrumenten geführt, von denen wir in Fig. 542 eine Anzahl der interessantesten abbilden, wie sie von A. Sax 1862 in London ausgestellt waren.

Die Zungenwerke gehören eigentlich zu den im Prinzip einfachsten musikalischen Instrumenten, denn der Ton wird bei ihnen direkt hervorgebracht durch die Schwingungen elastischer Metallstäbe und ist demnach für jede Zunge ein fest bestimmter, der nicht durch verschiedene Behandlungsweise variiert und wie die schwingende Luftsäule zur Entwickelung jener bekannten Reihe von Obertönen gebracht werden kann. In der Regel bestehen die Zungen aus Stahl und werden durch einen Windstrom zum Schwingen gebracht.

Die Geschwindigkeit dieser Schwingungen, die Höhe des Tones, hängt von der Spannung (Steifheit) der Zunge und von ihrem Gewichte ab; mit der ersteren erhöht, mit dem letzteren vertieft sich derselbe. Durch Verkürzen oder Verlängern des schwingenden Teiles vermag man also den Ton zu verändern, und um dies zu thun, bedient man sich in der Regel eines verschiebbaren Stimmstiftes, der an die Zunge fest anlehnt und ihre schwingende Länge bestimmt; allein diese Veränderung ist der Natur der Sache nach nicht eine solche, welche während des Spieles vorgenommen werden könnte. Sie ist außerdem nur innerhalb gewisser Grenzen möglich und deswegen nur für die Abstimmung der Zungen untereinander

verwendbar. Von der Weite der Schwingungen hängt die Stärke des Tones ab, und diese ist sonach eine Folge der mehr oder minder großen Ausweichung der federnden Zunge, beziehentlich der Stärke des einwirkenden Luftstromes.

Die Maultrommel, mit welcher sich, obwohl sie nur aus einer einzigen elastischen Metallzunge besteht, doch sehr verschiedene Töne hervorrufen lassen, scheint dem Gesagten aber schon einen Widerspruch zu bereiten. Indessen ist dies nur scheinbar der Fall. Denn die Feder hat in der That nur einen einzigen bestimmten Ton, es kommt aber nicht dieser zur Verwendung, sondern die Töne der schwingenden Luftsäule im Munde, und die Wirkung der Maultrommel beruht demnach auf einem andern Prinzip.

Ein angeschlagener Stahlstab — und als solchen können wir die Zungen ansehen — klingt für sich sehr schwach. Sein Ton läßt sich dadurch verstärken, daß man den Stab in Verbindung mit einem Resonanzboden bringt, sodann aber auch, daß man ihn über eine seitlich abgeschlossene Luftsäule hält, deren Länge derselben Schwingungsgeschwindigkeit entspricht. Schlägt man z. B. eine Stimmgabel an, so hört man zunächst nur die klirrenden Obertöne; wenn man ihre schwingenden Schenkel aber über die Öffnung einer Flasche hält, und in dieser durch Zugießen von Wasser die Luftsäule auf die betreffende Länge bringt, so wird dieselbe durch die Oszillationen der Metallmasse mit in Schwingung versetzt, und es wird ein Ton laut vernehmbar. Nun kann man nicht nur einen einzigen, den gleich schnell mit der Stimmgabel schwingenden Ton wahrnehmbar machen, sondern es treten alle diejenigen Töne vernehmlich hervor, deren Schwingungen allemal je mit der ersten, zweiten, dritten, vierten u. s. w. Ausweichung der Metallmasse zusammenfallen, also zunächst die Oktave, sodann die Quinte, Duodezime, Sexte u. s. w. Immer aber müssen diese Töne tiefer liegen als die erregenden Schwingungen des Stahlkörpers, und umgekehrt, wie bei den Metallblasinstrumenten der Grundton der schwingenden Luftsäule sehr tief sein muß, wenn die Obertöne nahe genug aneinander liegen sollen, um musikalisch brauchbar zu sein, so muß hier, wenn durch einen schwingenden Stahlstab eine Reihe brauchbarer Obertöne hervorgebracht werden soll, die Schwingungszahl desselben eine sehr hohe sein.

Bei der Maultrommel ist dies der Fall. Ihre Feder schwingt sehr rasch. Die Luftsäule, welche durch sie in Erregung versetzt wird und den hörbaren Ton hervorbringt, ist die von den Wänden der Rachenhöhle und der Luftröhre eingeschlossene Luft, und durch Verengerung oder Erweiterung derselben wird sie, wie die Luft in der Flasche durch Zuschütten oder Ausgießen von Wasser, für die Ansprache der verschiedensten Töne geeignet gemacht. Die meisten Maultrommeln, viele Millionen, werden in der Stadt Steyer gefertigt.

Die Mundharmonika dagegen zeigt verschieden gestimmte Metallzungen in einer Platte so angebracht, daß sie durch die Öffnungen derselben frei hindurchschlagen können und also in Schwingungen geraten, wenn sie durch einen Luftstrom aus ihrer Gleichgewichtslage gedrückt werden. Um sie aber vereinzelt zur Ansprache bringen zu können, befindet sich jede Zunge in einer besonderen Zelle, in welche man hineinblasen kann. Statt einer Zunge sind deren gewöhnlich zwei nebeneinander angebracht, eine nach außen, die andre nach innen schlagend, so daß also das Instrument sowohl beim Hineinblasen tönt, als auch, wenn die Luft durch dasselbe zurückgeworfen wird. Der Ton wird hier lediglich durch die federnde Zunge selbst hervorgebracht, und höchstens wirkt die Platte, in welcher die Zungen liegen, durch Resonanz etwas verstärkend. Ein bei weitem vollkommneres Instrument ist aber die

Physharmonika, auch Harmonium, Aoklodion, Seraphine u. s. w. genannt. Dasselbe ist um 1820 von einem Rentamtmann Eschenbach zu Königshofen an der Saale erfunden worden, und war in seiner ursprünglichen Gestalt ein Tasteninstrument mit einem Blasbalg, der mit den Füßen getreten ward und aus welchem kleine, durch das Niederdrücken der Tasten sich öffnende Windkanäle führten, vor denen die abgestimmten stählernen Zungen angebracht waren. So reizvoll auch die Wirkung derartiger Instrumente war, welche bald eine große Verbreitung und mancherlei Verbesserungen erhielten, so trat doch namentlich ein Übelstand störend hervor, der ihre Anwendung sehr beschränkte. Die Zungen nämlich geraten nicht in dem Moment, wo der Luftstrom sie trifft, gleich in volle Schwingung, denn es vergeht immer einige Zeit, ehe der Ton seine volle Stärke erreicht, und wenn

dieses Schwellen für manche Musikstücke sogar von einem sehr schönen Effekt sein kann, so ist doch für alle schnelleren Passagen die Ansprache nicht präzis genug. Ein gewisser Martin in Paris verband daher mit dem genannten Mechanismus noch ein Hämmerwerk, wie das Pianoforte hat, so daß der Windstrom nur die vor dem Hammerschlage schon hervorgebrachten Schwingungen zu unterhalten hat. Diese Instrumente hießen Orgues à percussion.

Außerdem aber kombinierte man noch mancherlei Arrangements, man ließ den Wind durch jalousieartige Klappen allmählich sich verstärken und abschwächen; richtete die Kanäle so, daß verschiedene Zungen durch eine Taste miteinander zur Ansprache gebracht wurden, wodurch die Klangfarbe wesentlich geändert wurde, vermehrte die Zahl der Blasbälge auf zwei, für jeden Fuß einen, und gab ihnen noch eine besondere Windkammer u. s. w., so daß das heutige Harmonium, namentlich von Schiedmayer & Söhne in Stuttgart, zu den ausgezeichnetsten musikalischen Ausdrucksmitteln gehört.

Die Ziehharmonika oder das Akkordion ist eine Physharmonika in kleinem Maßstabe, bei der der Blasbalg durch die Hand bewegt wird. Ihre äußere Einrichtung ist so bekannt, daß wir darüber nichts zu sagen brauchen. Die Zungen liegen in den beiden starken Tafeln, welche oben und unten den in parallele Falten sich zusammenklappenden Balg (sogenannten Laternenbalg) abschließen. Die Öffnungen in den Balgtafeln sind genau so groß wie die darin durchschlagenden Zungen, so daß neben diesen keine Luft vorbeigehen kann. Die Zungen sind so befestigt, daß sie nach beiden Seiten ausschlagen und sowohl beim Drücken als beim Saugen des Blasbalges ansprechen. Die Windleitungen werden durch Tasten geöffnet, welche in Form kleiner Knöpfchen auf einer Grifffläche hervorstehen.

In England hat die Ziehharmonika eine Vervollkommnung durch Wheatstone erfahren, indem derselbe die viereckige Form in eine achteckige verwandelte, den Tonumfang bis auf drei Oktaven durch die chromatische Skala erweiterte, die inneren Bestandteile mit möglichster Genauigkeit anfertigen ließ und dem so entstandenen Werke den Namen Konzertina beilegte, welche namentlich in Wien und Chemnitz in großer Zahl und zu Preisen von 1 Gulden bis 90 Mark das Stück fabrikmäßig dargestellt werden.

Bei allen diesen Instrumenten, bei der Physharmonika wie bei der Ziehharmonika, vertritt der plattenförmige Rahmen, in welchen die Zungen eingelassen sind, die Stelle des Resonanzbodens. Die Zungen haben eine verhältnismäßig geringe Masse.

Die Musikspielwerke, Spieldosen u. dgl., bei denen nicht ein Windstoß die federnden Zungen vibrieren macht, sondern wo dieselben durch Stifte, die auf einer sich drehenden Walze eingeschlagen sind, mitgenommen und durch das plötzliche Zurückschnellen tönen, haben keinen besonderen Rahmen. Die Zungen hängen unter sich zusammen und sind durch Sägeeinschnitte aus einer schräg geformten Stahlplatte ausgeschnitten. Um sie für die tieferen Töne herabzustimmen, werden kleine Bleiklötzchen unterhalb der Spitze angelötet; dadurch wird das Gewicht der schwingenden Masse vermehrt. Damit aber nach einem vollen Walzenumgange die Zungen von den Stiften nicht wieder in derselben Reihenfolge getroffen werden, verschiebt sich die Walze während ihrer Drehung zugleich seitwärts, und es schlagen daher allmählich Stifte an die Zungenspitzen, welche vorher durch die Zwischenräume zwischen den einzelnen Zinken leer hindurchgingen. Größere Musikstücke lassen sich aus diesem Grunde nur zur Ausführung bringen, indem man die Stifte auf der Walze spiralförmig anordnet und zwischen den einzelnen Zungen einen genügenden Zwischenraum läßt, so daß selbst nach acht- bis zehnmaligem Umgange ein Stift, der einmal angeschlagen hat, noch nicht die nächste Zunge berührt.

Die Herstellung solcher Instrumente gehört aber mehr in das Gebiet der Uhrmacherkunst als in das des Instrumentenbaues, und wir dürfen uns daher an dieser Stelle enthalten, spezieller auf den Gegenstand einzugehen. In der Schweiz, namentlich in Bern, werden große Massen davon angefertigt.

Indessen müssen wir hier doch noch derjenigen automatischen Spielwerke Erwähnung thun, welche ebenfalls durch solche Spielwalzen in Bewegung gesetzt werden, in denen aber zur Erzeugung des Tones nicht nur federnde Metallzungen verwendet werden, sondern die eine oft sehr komplizierte Verbindung aller nur denkbaren Klangkörper darstellen. Es sind dies die sogenannten Orchestrions, in deren Erfindung und Vervollkommnung

namentlich Alexander Kaufmann in Dresden, Rebicek in Prag, M. Blessing und M. Welte in Vöhrenbach im Schwarzwalde eine große Berühmtheit erlangt haben. Der letztere hatte auf die Ausstellung von 1862 ein Orchestrion geschickt, welches der Berichterstatter für den Zollverein das Vollkommenste nennt, was bis jetzt in dieser Art geleistet worden ist. Die Abbildung (Fig. 547) auf Seite 501 gibt uns eine Ansicht dieses höchst interessanten Werkes. Die Maschine desselben hatte zwei Hauptlaufwerke, welche mittels aufgezogener Gewichte in Bewegung gesetzt wurden. Die Stifte waren auf den Walzen in acht Umgängen spiralförmig verteilt. Mit den hierdurch berührten 186 Tasten standen nun die verschiedenen Tonquellen in Verbindung, welche in mannigfacher Koppelung die Klangfarben der verschiedenen Instrumente nachahmen. 524 Pfeifen in 15 Registern gaben im Charakter folgende Instrumente wieder: Flöte, Fugarra (Oktave), Piccolo, Oboe, Trompete, Horn, Fagott und Posaune. Außerdem war vorhanden eine große Trommel mit starkem Schlägel und Paukenwirbel, eine kleine Militärtrommel, Triangel und türkische Becken. Der Wind wurde in drei verschiedenen Blasbälgen erzeugt. Die Noten für ein Musikstück waren auf drei Walzen eingeschlagen, so daß durch die 39 Walzen, welche dem Werke beigegeben waren, 13 große Musikstücke ausgeführt werden konnten.

Die Drehorgel ist eine einfache Abart dieser Apparate, welche in eigentlichem Sinne nicht zu den musikalischen Instrumenten zu rechnen sind, da ihre Behandlung eine künstlerische Bildung durchaus nicht beansprucht. Ihr Vertrieb geschieht deshalb auch hauptsächlich nach Ländern, wie Rußland, wo bei den in entlegenen Gegenden lebenden, aber doch durch Reisen in der Kultur bekannt gewordenen Bewohnern das Verlangen nach musikalischen Genüssen ein größeres ist, als die Möglichkeit, die nötige Ausbildung sich zu verschaffen, um jenem Bedürfnis genügen zu können.

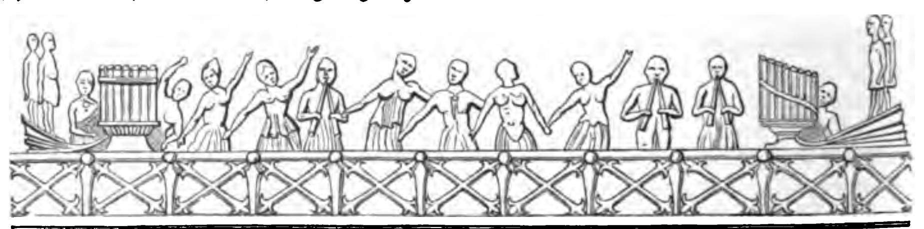


Fig. 548. Pneumatische Orgel aus dem 4. Jahrhundert, nach einer Skulptur in Konstantinopel.

Die Orgel, dies großartigste aller musikalischen Instrumente, stützt sich in ihrem heutigen Wesen auf die Gesamtheit aller Erfahrungen, welche bei den verschiedenen musikalischen Instrumenten vereinzelt gemacht werden können. Da sie bestimmt ist, musikalische Ideen zum vollständigen höchsten Ausdruck zu bringen und allein das zu bewirken, wozu in allen Fällen sonst die verschiedenartigen Instrumente zusammen mit ihren Eigentümlichkeiten sich vereinigen, so sind bei ihrer Erbauung auch alle die einzelnen Effekte ins Auge zu fassen, durch welche sich jene verschiedenen musikalischen Ausdrucksmittel voreinander auszeichnen. Diese Klangwirkungen zu erreichen ist die schwierige Aufgabe des Orgelbauers, und da die Hilfsmittel doch nur beschränkte sind — indem durch den bewegten Luftstrom, welcher aus den Blasbälgen durch die Windleitungen den Pfeifen zugeführt wird, nicht nur die Effekte aller Blasinstrumente, sondern auch die Klänge der Saiteninstrumente nachgeahmt werden sollen — so muß uns ein Orgelwerk wie das im Ulmer Dom die höchste Bewunderung abnötigen.

Der Name „Orgel“ stammt von organum, organon, womit die lateinische und griechische Sprache ursprünglich jedes Gerät und Instrument, sodann in specie die musikalischen Instrumente und endlich eine gewisse Klasse Blasinstrumente bezeichnete. Man hat deswegen der Orgel ein sehr hohes Alter zuschreiben wollen, und die in manchen alten Schriften viel erwähnte Wasserorgel, welche schon den alten Griechen bekannt gewesen ist, als dasjenige Instrument bezeichnet, aus welchem unsre heutige Orgel hervorgegangen sei. Eine zufällige Gleichheit in der Benennung aber, noch dazu, wenn dieselbe nur von der Sache meist unkundigen Übersetzern herrührt, kann als ein Beweis für die Übereinstimmung der

Begriffe gelten, und weiter hat man hier in der That keinen Anhalt. Denn obwohl es verschiedene versucht haben, nach den Beschreibungen, welche Vitruv, Hero und andre von der Wasserorgel gegeben, ein solches Werk nachzubilden, so ist es doch nie gelungen, die wirkliche Einrichtung jenes Instruments, welches Organum hydraulicum genannt wird, herauszufinden. Indessen scheinen sehr frühzeitig musikalische Apparate in Gebrauch gewesen zu sein, an denen Blasbälge und eherne Pfeifen vereinigt waren. Eginhard gibt an, daß 826 ein venezianischer Priester eine Wasserorgel konstruiert habe, und die letzte, deren Erwähnung geschieht, soll im 12. Jahrhundert noch zu Malmesbury existiert haben. Indessen gab es zu damaliger Zeit bereits pneumatische Orgeln, und durch diese dürften die hilflosen Wasserorgeln wohl schon viel früher verdrängt worden sein. Von einer solchen pneumatischen Orgel gibt der heilige Hieronymus (von 331—420) eine Beschreibung, welche glückliche Bestätigung findet durch die Steinmetzarbeiten an den Seiten eines zu Konstantinopel unter Theodosius dem Großen errichteten Obelisken. Nach diesen gleichzeitigen Zeugnissen hat die Orgel (von der wir in Fig. 543 nach den alten Skulpturen eine Abbildung geben) 15 Pfeifen gehabt, zwei Windsäcke von Elefantenhaut und zwölf Schmiedeblasebälge, „um den Donner nachzuahmen“, wie sich der heilige Hieronymus ausdrückt.

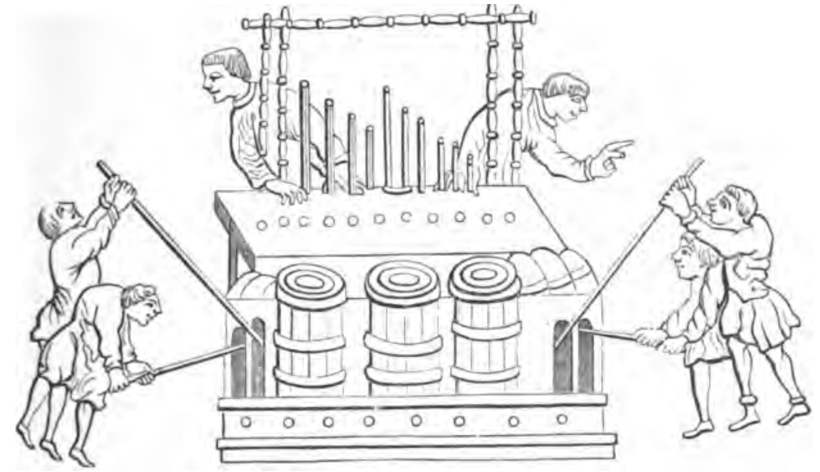


Fig. 544. Große Orgel mit Windkessel.

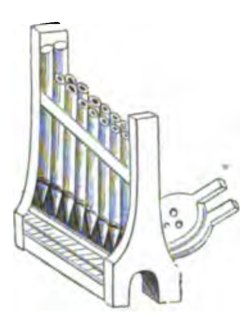
Im Occident scheint die Orgel nicht vor dem 8. Jahrhundert in Gebrauch gekommen zu sein. Im Jahre 757, heißt es, habe der byzantinische Kaiser Konstantin an den König Pipin unter andern Geschenken auch eine Orgel gesandt, welche die Bewunderung des abendländischen Hofes erregt habe. Karl der Große, der ein ebensolches Werk von demselben Monarchen erhielt, soll nach diesem Modell mehrere Orgeln haben bauen lassen, welche nach dem Zeugnis eines Mönches von St. Gallen „mit ihren Pfeifen, beseelt durch den Hauch der Ochsenhäute, das Rollen des Donners, den Ton der Lyra und das Klingeln der Zimbeln nachahmten.“ Diese Orgeln waren tragbar und noch nicht von den großen Dimensionen, welche sie später infolge ihres fast ausschließlichen Gebrauches in den großen Domen des Katholizismus erhielten.

Lassen wir alle Vermutungen und mangelhaft gestützten Ideenkombinationen beiseite, so haben wir als das älteste Dokument über die Orgeln ein Schreiben des Papstes Johann VIII. an Anno, Bischof von Freisingen, anzusehen, in welchem der letztere ersucht wird, eine Orgel und einen Künstler, der eine solche bauen und spielen könne, nach Italien zu senden. Die Kunst des Orgelbaues, mag sie nun in Griechenland erfunden worden sein oder nicht und mag das Organum, welches Pipin oder Kaiser Karl der Große vom Kaiser zu Konstantinopel zum Geschenk erhalten hatte, die erste Orgel nach unsrer Art, die ins Abendland kam, gewesen sein oder nicht, jene Kunst ist also faktisch wenigstens in der zweiten Hälfte des 9. Jahrhunderts in Deutschland schon geübt worden. Im Jahre 951 ließ der

Bischof Elsey für seine Winchester-Kathedrale eine große Orgel bauen, an der oben 12, unten 14 Blasebälge angelegt waren, welche von 70 rüstigen Männern mit Anstrengung gezogen oder getreten werden mußten. Die Zahl der Pfeifen betrug 400, und zum Spiel waren zwei Organisten notwendig. Wahrscheinlich bedurfte es einer so bedeutenden Kraft, um die Klaves niederzudrücken, daß ein einzelner Mann nicht damit fertig werden konnte, denn der damalige Kirchengesang, zu dessen Begleitung ja die Orgel gebraucht wurde, war erstens nicht so künstlicher Art, daß die zehn Finger eines einzigen Organisten nicht ausgereicht hätten, wenn die damaligen Orgeln die Einrichtung unsrer heutigen gehabt hätten; dann aber auch hören wir, daß die Zahl der Klaves an dieser Orgel im ganzen nur zehn betragen habe, auf jeden demnach 40 Pfeifen kamen. Es heißt, daß diese Orgel verschiedene Register gehabt habe, und es wäre möglich, daß diese Register zu kombinieren die Unterstützung durch einen zweiten Organisten notwendig gemacht hätte, aber da das, was wir jetzt Register nennen, damals kaum schon in Gebrauch war, so ist auch eine solche Voraussetzung unwahrscheinlich. Eine Ansicht einer Orgel nach ähnlicher Konstruktion, vielleicht gar eine schematische Darstellung der Winchesterorgel, gibt ein Manuskript, das sich im Archive zu Cambridge fand und aus dem 12. Jahrhundert stammt (s. Fig. 544).


Fig. 545. Große Orgel aus dem 14. Jahrhundert.

Eine figurierte Stimmführung ließ das geringe Tongebiet natürlich nicht zu, und es bestand die Behandlung der alten Orgel nur darin, daß bei Absingung eines Liedes mit der Faust ein Klavis niedergedrückt wurde, der den Ton hielt, nach welchem der Choral ging. In Frankreich wird die erste Kirchenorgel im 12. Jahrhundert erwähnt. Sie befand sich in der Abtei Fecamp. Wahrscheinlich aber ist es, daß auch früher schon Orgeln hier in größerer Zahl bekannt waren, denn im 10. Jahrhundert waren dieselben in Deutschland schon sehr verbreitet, und Freisingen, München, Aachen, Magdeburg, Halberstadt, Erfurt besaßen zu jener Zeit bereits Orgeln. Auf einem lateinischen Psalter, der sich auf der Pariser Bibliothek befindet, ist die Abbildung Fig. 545 entnommen, welche eine Orgel darstellt, wie solche im 14. Jahrhundert gebaut wurden, und eine kleine tragbare Orgel aus dem 15. Jahrhundert (s. Fig. 546) zeigt uns eine gleichzeitige Miniatur aus dem Geschichtsspiegel des Vincent von Beauvais — ebenfalls auf der Pariser Bibliothek. Diese ältesten Orgeln hatten in der Regel 12 Töne mit 12 Tasten, welche handbreit und ausgehöhlt waren, so daß sie mit Arm und Ellbogen „geschlagen“ werden mußten. Es ist selbstverständlich, daß diese rohe Einrichtung noch ganz besondere Schwierigkeiten der Behandlung darbot, weil die Ventile, Schieber, Hebel u. s. w., welche die Zugänge zu den Windleitungen zu öffnen hatten, lange nicht mit der Genauigkeit gemacht sein konnten wie an den heutigen Orgeln. Ja die Verbindung mit den Klaves war in der Regel nur durch starke Schnüre oder Stricke hergestellt.


Fig. 546. Tragbare Orgel aus dem 14. Jahrhundert.

Über die Vereinigung der Pfeifen zu einzelnen Gruppen von bestimmtem Klangcharakter, Registern, hört man zwar bei der Orgel zu Winchester, allein es mag dieser Ausdruck, da die Sache bei späteren Orgeln sobald nicht wieder erwähnt wird, wie gesagt, wohl etwas andres bedeuten. Es erscheint vielmehr, als ob damals jeder Klavis eine sogenannte Mixtur erregt habe; alles darauf stehende Pfeifenwerk, es mochte Dimensionen haben,

welche es wollte, sprach zu gleicher Zeit an, sobald die Taste niedergedrückt wurde. Die unbequeme Handhabung führte dahin, zum Niederdrücken der Tasten die Füße mit anzuwenden, weil sie eine derartige Anstrengung länger aushalten als die Hände. Die Blasbälge, deren oft 20, 30 und noch mehr angebracht waren, litten noch an großen Unvollkommenheiten, und es war an einen regelmäßigen, fortwährend gleichstarken Windzufluß nicht zu denken.

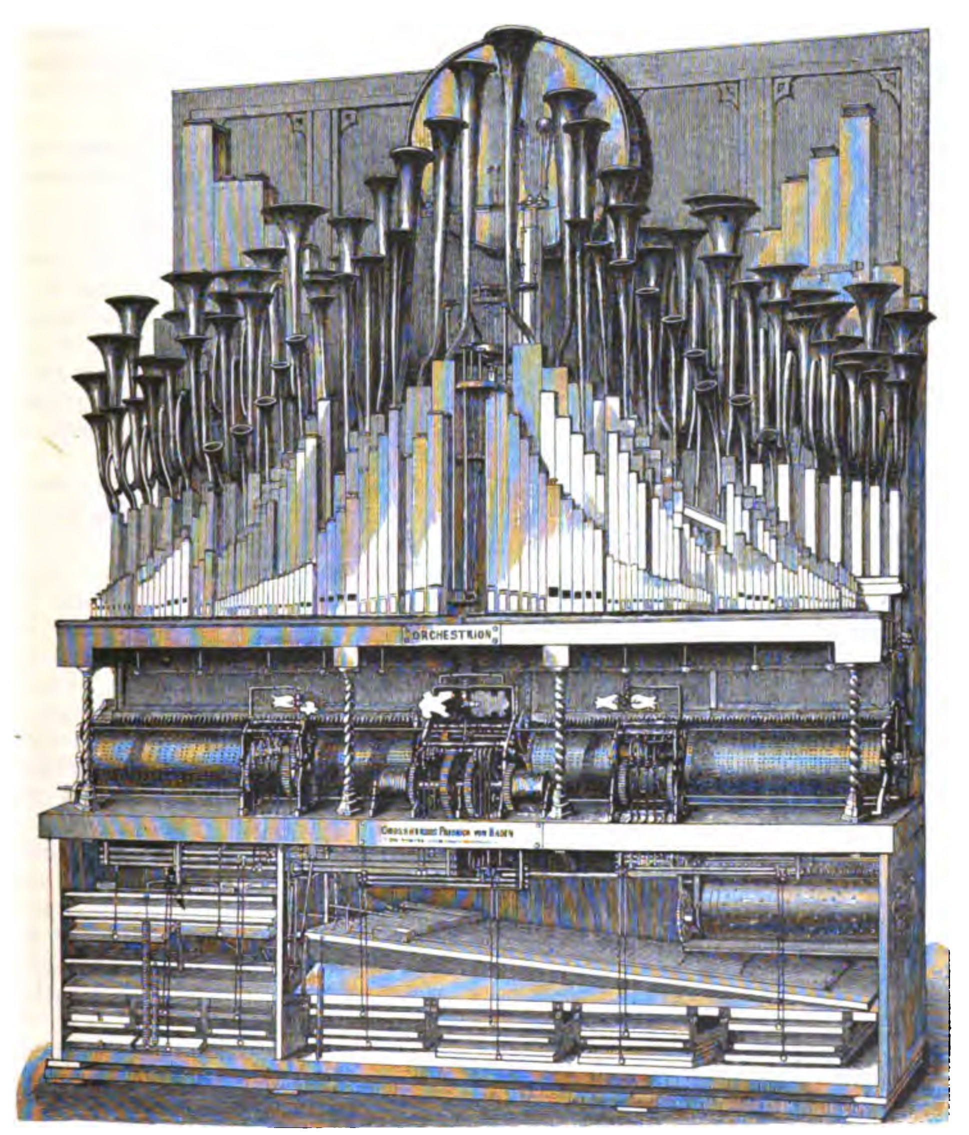


Fig. 547. Automatisches Musikspielwerk von M. Welte in Vöhrenbach. Internationale Ausstellung zu London 1862.

Davon aber hängt die Gleichheit des Tones ab, mit der es also nicht sehr gut bestellt gewesen sein kann, und es ist nicht zu verwundern, daß sich hier und da große Widersprüche gegen die Einführung der Orgel in den Kirchendienst erhoben.

Mit der Erkenntnis der Unvollkommenheiten hat aber in der That auch schon deren Beseitigung begonnen, und wir finden bei der Orgel schon zu Anfang des 13. Jahrhunderts bedeutende Verbesserungen. Statt der früher allgemein üblichen diatonischen Tonreihe führte

man die chromatische ein; im 14. Jahrhundert wurde in der Domkirche zu Halberstadt eine Orgel errichtet, welche bereits zwei Klaviere hatte, ein oberes für die rechte Hand, der Diskant, und ein unteres für die linke Hand, um den Baß zu führen. Das erstere hatte 14 diatonische und 8 chromatische Töne, also im ganzen 22 Klaves. Was man vor der letzten Hälfte des 15. Jahrhunderts Pedal nannte, war, wie gesagt, nichts andres als die gewöhnliche Klaviatur, welche bisweilen mit Füßen getreten, anstatt mit Händen gedrückt wurde. Im Jahre 1470 aber erfand Bernhard, ein deutscher Musikus zu Venedig, die Einrichtung, mit den vorhandenen Tasten, dem Manuale, welches mit den Händen gespielt wurde, noch eine zweite besondere, mit den Füßen zu behandelnde Tastatur zu verbinden, das eigentliche Pedal. Die Windklappen wurden auch hier mittels Stricken von den Pedaltasten geöffnet.

Das Spiel konnte nun zwar nach Belieben vollstimmiger gemacht werden, wenn man das Pedal mit zu Hilfe nahm, allein das war auch bis in das 16. Jahrhundert alles, was in bezug auf die Veränderung des Toncharakters erfunden worden war. Es ist nun aber gerade die hervorragendste Eigentümlichkeit der heutigen Orgelwerke, daß sie eine ungemein mannigfaltige Verbindung verschiedener Pfeifen erlauben, die dann zugleich durch einen Klavis zum Tönen gebracht werden und in ihrem Zusammenklingen einen Effekt von einer bestimmten und beabsichtigten Farbe hervorbringen. Und diese zweckmäßige Zusammensetzung der einzelnen Klänge in Nachahmnng beliebter Instrumentaleffekte, die Scheidung des Pfeifenwerks in besondere Register, stammt aus dem 16. Jahrhundert. Dieser Zeitpunkt muß demnach als die wichtigste Epoche der Orgelbaukunst angesehen werden; gekennzeichnet wird er durch die Erfindung der Spring- und der Schleiflade, deren Einrichtung wir kurz beschreiben wollen.

In einer einigermaßen vollständigen Orgel ist die Zahl der Pfeifen, welche je zu einem Klavis gehören, eine sehr bedeutende. Sie ruhen mit ihren Füßen unmittelbar nebeneinander auf den sogenannten Kanzellen (das sind die einzelnen Windfächer, deren jeder Taste je eines zugehört und welche zusammen die sogenannte Windlade bilden). Durch das Niederdrücken der Taste geht das Ventil, welches jede einzelne Kanzelle abschließt, in die Höhe, und der Wind würde in alle auf derselben stehenden Pfeifen strömen und sie zugleich zum Tönen bringen, wenn nicht durch die Registerzüge eine gewisse Ausschaltung bewirkt würde. Unter den Öffnungen der Pfeifenköpfe nämlich befinden sich lange, linealartige Hölzer, die sogenannten Schleifen oder Parallelen, welche mit den Registerzügen in Verbindung stehen und durch dieselben unterhalb der Pfeifenöffnungen verschoben werden können. Diese Schleifen sind derart mit runden Löchern versehen, daß, wenn eine derselben gezogen wird, diejenigen Pfeifen, welche dem Klangcharakter des zugehörigen Registers entsprechen, auf die in der Schleife befindlichen Löcher zu stehen kommen und den Wind eintreten lassen, die andern dagegen abgeschlossen werden. Die Springlade wurde im Laufe der Zeit mannigfach vervollkommt, auch wurden die Blasbälge wesentlich verbessert und zweckmäßiger angeordnet, um den ungeheuren Windverbrauch, an welchem die alten Orgeln litten, vorzubeugen. Indessen waren dies Verbesserungen mehr mechanischer Art, und sie berühren unser Interesse weniger als die Erfindung der verschiedenen Register, in deren Zusammensetzung die Orgelbauer einen feinen Sinn und aufmerksame Naturbeobachtung bethätigen konnten.

Die Rohr- und Schnarrwerke wurden eingeführt und überhaupt die mannigfachsten Klangeffekte mit der Orgel verbunden, seitdem man gelernt hatte, einzelne Stimmen nach Belieben ausfallen zu lassen oder in die Klangmasse wieder einzuschalten, freilich führte das vergrößerte Vermögen auch bald zu verwerflichen Spielereien.

Einige sehr bedeutende Orgelwerke sind in dieser Periode entstanden, und namentlich erlangte die Orgel der Schloßkirche zu Gröningen bei Halberstadt, 1596 durch David Becke erbaut, einen solchen Ruf, daß sie bei ihrer Einweihung von nicht weniger als 53 Examinatoren revidiert und gespielt wurde.

Eine der bedeutendsten Erfindungen der damaligen Zeit ist die von Andreas Werkmeister, Organist zu Halle, gemachte der gleichschwebenden Temperatur, wodurch erst ein Wechsel der Tonarten möglich gemacht wurde.

Das Klavier wurde dadurch einer Erweiterung fähig, denn abgesehen davon, daß die ältesten Orgeln weder cis, dis, noch fis und gis hatten und das cis sogar im 16. Jahrhundert ein fehlender Ton war, wurde nach der Vervollständigung dieser Halbtöne der Umfang des Manuals bis auf vier Oktaven von C bis c''' gebracht. Das Pedal erhielt die große Oktave und noch einige Töne der kleinen.

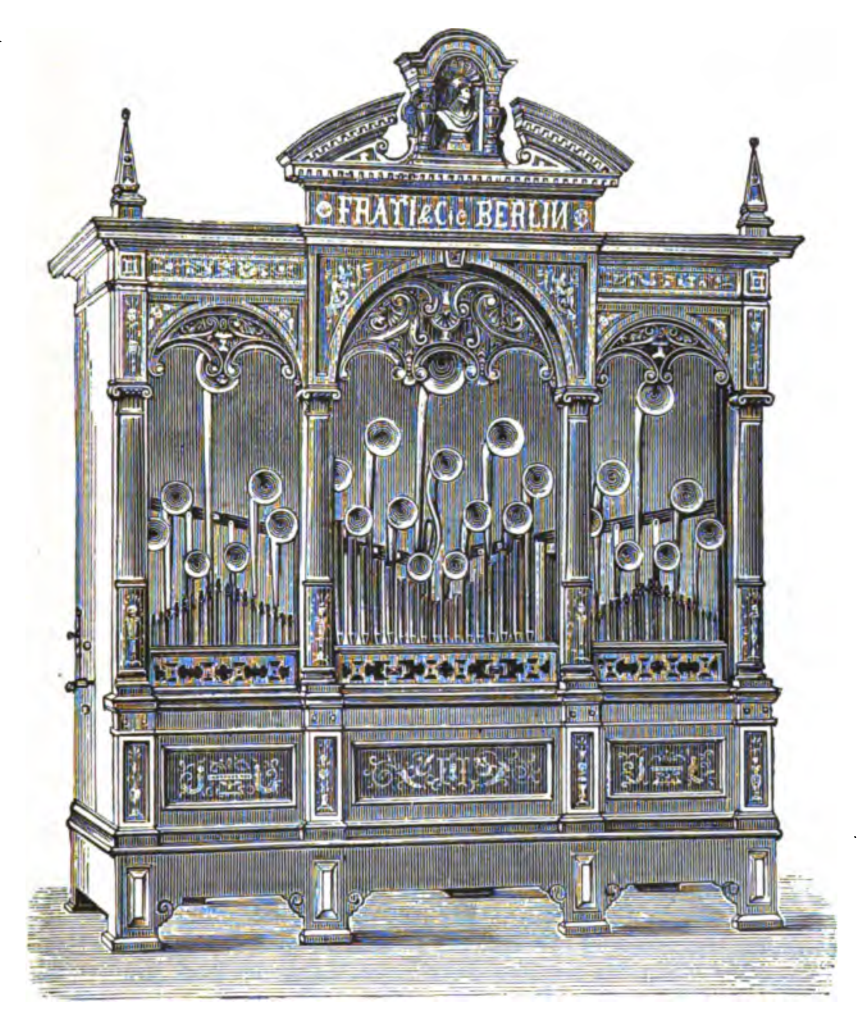


Fig. 548. Orchestrion von Frati & Comp. in Berlin.

Die Blüte des Orgelbaues war zu Anfang des 18. Jahrhunderts in Deutschland, und sie fällt mit der Zeit zusammen, wo die protestantische Kirchenmusik durch Bach und Händel ihre großartigsten Schöpfungen hervorbrachte. England, früher durch viele bedeutende Orgelbauer ausgezeichnet, war durch eine Verordnung von 1644, welche befahl, daß alle Orgeln abgebrochen werden sollten, und der in jenen puritanischen Bewegungen mit um so größerer Eilfertigkeit nachgekommen wurde, als aus dem Material der Pfeifen sich Flintenkugeln in Masse gießen ließen, seiner schönsten Werke beraubt worden, und seine Orgelbauer wären gezwungen, auszuwandern oder das Tischlerhandwerk zu ergreifen. In den katholischen Ländern aber konnte sich, weil hier der Gesang der Gemeinde nicht jene hervorragende Bedeutung erhielt wie in den protestantischen, die Orgel, der Natur der Sache nach, nicht so gewaltig entfalten. Wir treffen daher auch jetzt noch die bedeutendsten Orgelwerke

in protestantischen Kirchen, in denen die Muse des unvergleichlichen Bach ihren Kultus feiert. Namentlich tritt ein Name aus jener Zeit in der Geschichte der Orgelbaukunst glänzend hervor: Silbermann, derselbe, dem wir schon in der Geschichte des Pianofortes begegneten. Es bezeichnet derselbe aber nicht eine einzelne Persönlichkeit, sondern es gibt mehrere seiner Träger, die im Instrumentenbau Vortreffliches leisteten.

Andreas und Gottfried Silbermann waren die Söhne eines Zimmermanns zu Grafenstein in Böhmen, Namens Michael Silbermann. Beide erlernten das Tischlerhandwerk. Andreas, 1678 zu Grafenstein geboren, ging 1700 auf die Wanderschaft und erlernte in Hagenau die Orgelbaukunst, in welcher er sich 1703 in Straßburg als Meister niederließ. Er hatte neun Söhne, von denen ihm vier blieben und als Orgelbauer, wie er, das Geschäft des Vaters nach dem 1734 erfolgten Tode desselben fortsetzten. Bis 1751 betrieben sie es gemeinschaftlich. Von ihnen ist es der jüngste, Johann Heinrich Silbermann, der sich nebenbei auch dem Bau der Pianoforte zuwendete.

Fig. 549. Schema der Orgeleinrichtung.

Gottfried Silbermann, der Bruder des Andreas, hielt sich um 1712 in Freiberg auf, von wo er aber mehrfacher loser Streiche wegen sich flüchten mußte. In Straßburg, wohin er sich begab und wo er sich als Orgelbauer ausbildete, war seines Bleibens auch nicht lange, und man erzählt, daß ihm der mißglückte Versuch, eine Nonne zu entführen, den weiteren Aufenthalt unmöglich gemacht habe. Nach vielen Kreuz- und Querzügen ließ er sich endlich in Frauenstein in Sachsen als Orgelbaumeister nieder, welchen Wohnort er aber später mit Freiberg vertauschte. Er ist es, der die berühmten „Silbermann“-Orgeln gebaut hat, obwohl er in seiner Werkstätte nicht mehr als 8—10 Arbeiter beschäftigte. Er starb als kursächsischer Hof- und Landorgelbauer 1753 zu Dresden.

Die Zahl der sämtlichen Orgeln, welche Andreas Silbermann und seine Söhne bauten, beträgt nach Welcker von Gontershausen 74, der von Gottfried gebauten 30.

Es ist geradezu unmöglich, bei dem uns zu Gebote stehenden beschränkten Raume eine eingehendere Besprechung der einzelnen Erfindungen, welche im Laufe der letzten hundert Jahre an der Orgel gemacht worden sind, zu geben. Ein derartiges Unternehmen würde die genaue Beschreibung aller Einzelheiten der inneren Orgeleinheiten mit allen Veränderungen und Verbesserungen bis heute entweder voraussetzen oder in sich fassen müssen, wozu der Raum eines starken Bandes kaum ausreichen würde.

Um indessen unsern Lesern einen Begriff zu geben von dem Prinzip, nach welchem im großen Ganzen die Orgel eingerichtet ist, verweisen wir sie auf die Betrachtung der Fig. 549. Die Luft wird durch Treten des Blasbalges in die Windladen gepreßt, auf denen die Pfeifen stehen. Die kleinen durchlöcherten Brettchen, welche sich unter dem Fuße der Pfeifen verschieben lassen, sind die Schleifen, sie stehen mit dem Registerzuge in Verbindung. Durch Herausziehen desselben werden die entsprechenden Öffnungen unter den Fuß der Pfeife geschoben, so daß, wenn das Ventil durch die Taste geöffnet wird, der Wind in diejenigen Pfeifen tritt, deren gleichzeitiges Ertönen die eigentümliche Klangfarbe des Registers ausmacht. Den ganzen Mechanismus hat der Orgelspieler mit dem Drucke seiner Hand in Bewegung zu setzen. Um die schwere Spielart, welche hieraus resultiert, zu vermeiden,

hatte Weigle eine schon früher aufgetauchte Idee erfaßt und die Öffnung und Schließung der Ventile auf elektromagnetischem Wege bewirkt, so daß das Niederdrücken der Taste zu nichts weiter dient, als um den elektrischen Strom zu schließen, der das betreffende Ventil darauf reguliert. Eine solche „elektrische Orgel“ war 1873 in Wien ausgestellt. In neuerer Zeit werden bei größeren Orgelwerken kleine Dampfmaschinen angewandt, welche nach dem Prinzip der Kompressionspumpe die Luft in einem Windkessel verdichten und dadurch einen viel regelmäßigeren Zufluß beschaffen als die Kalkanten oder Bälgetreter, deren Leistung schon des wechselnden Gewichts wegen nicht so genau sich bemessen läßt. Da die Register ihre einzelnen Tonbestandteile oft einer sehr großen Anzahl von Pfeifen entnehmen, so wächst die Pfeifenmenge oft ins Unglaubliche. Die berühmte Orgel in der Benediktinerabtei zu Weingarten in Schwaben (1750 vollendet) hatte 6666 Pfeifen, 66 Register, ein freies Pedal und vier Manuale.

Das Material, aus welchem die Orgelpfeifen hergestellt werden, ist Zinn, und zwar das reinste und beste. Wo aber die großen Kosten ein Hindernis sind, wählt man Holz, das bisweilen mit Zinn plattiert wird. In England bedient man sich außerdem noch einer besonderen billigeren Komposition, zu den großen Pfeifen aber auch des Zinks.

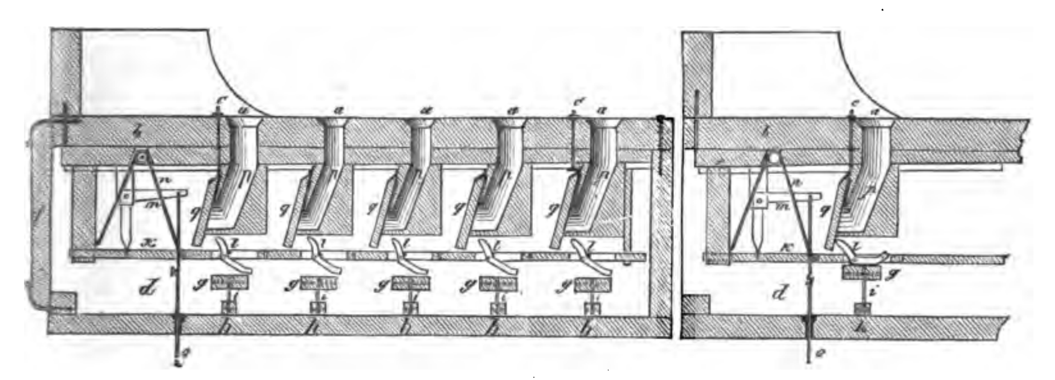


Fig. 550 und 551. Hahnenlade für Orgelwerke von Randebrock.

Was die Form und Dimensionen der Pfeifen anbelangt, so sind sie schon nach den Bedürfnissen der erweiterten Klaviatur sehr verschiedene, außerdem aber hat die Zusammensetzung der Register mannigfache Konstruktionen von verschiedener Klangfarbe erzeugt. Die größte Zinnpfeife der von Ladegast erbauten Orgel in der Nikolaikirche zu Leipzig, das tiefe (große) Kontra-E (10 m), wiegt allein drei Zentner, während die kleinste Mixturpfeife sich mit Leichtigkeit unter einem Maikäfer verstecken kann. Da enge cylindrische Pfeifen, wenn sie scharf angeblasen werden, eine Reihe der harmonischen Obertöne mit erklingen lassen, welche dem Grundtone eine eigentümliche geigenartige Färbung verleihen, so findet man diejenigen Register, von denen man einen solchen Effekt erwartet (Geigenprinzipal, Violoncell, Violonbaß, Viola di Gamba u. s. w.), aus solchen engen Pfeifen zusammengesetzt. Weite Pfeifen dagegen erzeugen die harmonischen Nebentöne nur sehr schwach, ihr Grundton tritt aber stark und voll hervor, und deshalb benutzt man sie für die Hauptklangmasse der Orgel, für die sogenannten Prinzipalstimmen. Kegelförmige Pfeifen lassen die ersten harmonischen Nebentöne nur schwach, dagegen den fünften bis siebenten ziemlich deutlich hervortreten, und die charakteristische Wirkung tritt in den Registern Spitzflöte, Salcional, Gemshorn, welche solche Pfeifen enthalten, deutlich zu Tage. In ähnlicher Weise sind die eigentümlichen Klänge gedackter Pfeifen von verschiedenen Mensuren ausgebeutet und zu hunderterlei Kombinationen benutzt worden.

Eine besonders merkwürdige Vereinigung sind uns die Mixturen dadurch, daß in ihnen Pfeifen zusammen verbunden sind, welche nicht alle denselben Ton angeben, sondern in dem Grundtone der Taste entsprechenden, harmonischen Obertönen gestimmt sind. Neben den Flötenpfeifen treten in der Orgel noch die verschiedensten Sorten von Zungenpfeifen

auf und bilden diejenigen Register, welche in ihrer Klangwirkung dem Horn, Fagott, der Trompete, der menschlichen Stimme u. s. w. entsprechen sollen; außerdem aber auch hat man für gewisse Effekte Stahlstäbe, Glocken und andre klingende Körper verwandt.

Vor allem bewunderungswürdig sind die großen Orgelwerke, welche aus dem Atelier von Walcker & Comp. in Ludwigsburg hervorgegangen sind. Diese Firma, von dem aus Kannstatt gebürtigen und zu Ludwigsburg 1843 verstorbenen Orgelbauer Eberhard Friedrich Walcker gegründet, hatte bis zu Ende des Jahres 1871 an 270 Orgelwerke von 2—100 Registern ausgeführt, darunter viele von 50, 60 und bei weitem mehr Registern. Die weltberühmte Orgel im Ulmer Münster hat 100 Register, 4 Manuale, 2 Pedale und 6286 Pfeifen, deren größte in der Front stehende 12 m lang ist und 60 cm im Durchmesser hat.

Unter den Verbesserungen, durch welche Walckers den Orgelbau gefördert haben, ist besonders hervorzuheben die Einführung der Stimmschlitze, der einschlagenden (freischwingenden) Zungenregister, vor allem aber das Kegelladensystem, welches 1842 zuerst bei einem für Esthland bestimmten Werke angewandt wurde. Jede Pfeife hat nach demselben ihr eignes Ventil, das durch seine verhältnismäßige Größe im Moment des Niederdrückens der Taste genau die Windmasse einströmen läßt, welche zum Zweck einer richtigen Intonation durch die Mensur der betreffenden Pfeife bedingt ist. Die alten Schleifladen dagegen erhalten ihren Gesamtwind durch ein gemeinschaftliches Ventil, wodurch Ungleichheiten in der Ansprache der Pfeifen eintreten, sobald alle Register gespielt werden.

In neuerer Zeit hat Randebrock eine im Prinzip schon von Röver in Stade um 1849 angegebene Konstruktion eingeführt, die er Hahnenlade nennt; sie unterscheidet sich von den früheren Systemen dadurch, daß sie Wind direkt aus dem Windkasten in die Pfeifen treten läßt, ohne Vermittelung von Kanzellen und Röhren. In Fig. 550 und 551 sieht man dieselbe im Durchschnitt angegeben. Die Windleitungen pp werden durch die Ventile qq abgesperrt, diese aber durch kleine Windkessel ll (Hahnen genannt) geöffnet. Letztere werden mittels der Stange k dagegen gedrückt, wenn dieselbe von rechts nach links verschoben wird, nachdem zuvor die Registerbrücken g in die Lage gebracht sind, wie sie die Figur 550 ergibt.

Wenn man die heutigen Orgelwerke, etwa die Orgel im Ulmer Münster von Walcker, in Ludwigsburg oder die im Merseburger Dom und in der Nikolaikirche zu Leipzig von Ladegast in Merseburg gebauten, mit denen früherer Zeiten vergleicht, so müssen wir, selbst seit der Silbermannschen Zeit, eine bei weitem höhere Vervollkommnung anerkennen, als alle vorhergegangenen Jahrhunderte zusammen bewirkt haben. Die Öffnung der Ventile und Schleifen ist durch Einführung scharfsinnig erdachter Vorrichtungen, wie der pneumatischen Heber oder der sogenannten elektrischen Trakturen, mit einer Leichtigkeit zu bewirken, welche das Spiel des gewaltigen Werkes nicht unbequemer macht als das eines Konzertflügels. Denn auch den galvanischen Strom hat man zur Arbeitsleistung herbeigezogen. Durch Niederdrücken der Tasten schließt man die Leitung und erregt kleinere Elektromagnete, welche die Ventile öffnen. Der Spieltisch mit den Manualen kann bei solcher Einrichtung an beliebigen Stellen angebracht werden. Dadurch aber konnten wiederum die durch die einzelnen Tasten erregbaren Klangkörper vermehrt und jene wunderbaren Toneffekte erreicht werden, die unser Gemüt entzücken und erheben.

So reich auch jetzt die vorhandenen Mittel sind, um so schwieriger ist es immerhin, die entsprechenden daraus zu künstlerisch-schönen Effekten zu verwenden. Mußten die alten Orgelbauer lediglich ihrem feinen Geschmack und ihrem gebildeten Gehör folgen, um das Überlieferte in einer zwar gesetzlich begründeten, aber in dieser Gesetzmäßigkeit nicht erkannten Empirie zu vervollkommnen, so hat die Neuzeit in der wissenschaftlichen Untersuchung der Klänge ein natürliches Fundament geschaffen, auf welchem der Aufbau viel einfacher und sicherer sich gestalten muß, und die Helmholtzschen Forschungen werden gerade hier ihre fördernde Kraft am bedeutsamsten beweisen.



Wo die Flamme brennt, erkennet freudig,
Hell ist Nacht und Glieder sind geschmeidig.
An des Herdes raschen Feuerkräften
Reift das Rohe Tier- und Pflanzensäften.

Goethe.

Das Thermometer.

Wärme und Kälte. Wärmemessung. Drebbels Thermometer. Theorie des Thermometers. Was die Wärme sei? Ihre Wirkungen. Wärmekapazität. Ausdehnung. Änderung des Aggregatzustandes. Latente Wärme. Meteorologie und Meteorograph. Anfertigung des Thermometers. Reaumur, Fahrenheit und Celsius. Maximum- und Minimumthermometer. Metallthermometer. Die Wärme im Haushalte der Natur.

Das Thermometer beschäftigt jedermann, und wenn er schmachtet oder friert, so scheint er in gewissem Sinne beruhigt, wenn er nur sein Leiden nach Réaumur oder Fahrenheit dem Grade nach aussprechen kann.

Diesem Goetheschen Ausspruche liegt viel Wahres zu Grunde. Es gewährt jedem das Zurückbeziehen gewisser natürlicher Erscheinungen auf einen Vergleichungspunkt eine Genugthuung, die ihn leicht darüber hinweggesetzt, nach den tieferen Ursachen zu forschen. Mit den Angaben des Thermometers ist durchaus keine Erklärung über das Wie und Warum der Erscheinungen, durch die unsre Sinne so bedeutend affiziert werden, verbunden

Wir reden zwar von Wärme, von Hitze und von Kälte, aber können diesen Ausdrücken keine tiefere Bedeutung unterlegen als eben die oberflächlicher Vergleichung. Was dem einen heiß erscheint, ist dem andern nur warm, und der Übergang von Wärme zu Kälte existiert eben nur in der Einrichtung jener Instrumente, mit denen wir uns der Überschrift zufolge hier beschäftigen wollen.

Das Thermometer ist, wie sein dem Griechischen entnommener Name andeutet (θερμός, warm, μέτρον, das Maß), ein Instrument, bestimmt, die Wärme zu messen. Die Erfindung desselben schreibt man verschiedenen zu, indessen dürfte es wohl am meisten Grund haben, anzunehmen, daß der bekannte holländische Landmann Cornelis Drebbel, der sich durch viele mechanische Erfindungen bekannt gemacht hat, dasselbe in der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts erfunden hat. Alle von andern angegebene und ähnlichen Zwecken dienende Vorrichtungen sind entweder nicht weiter bekannt geworden, oder die Nachrichten darüber wohl gar nur von späteren aus falschem Verständnis schriftlicher Notizen herausgerissen worden, um ihren Autoren die Ehre der Priorität zu vindizieren. So soll der Engländer Robert Fludd zu Oxford ein solches Instrument erfunden haben und der Arzt Sanctorius um 1600 mittels eines eigentümlichen Apparats im stande gewesen sein, die Wärme des menschlichen Körpers zu messen. Einige behaupten auch, daß Galilei um 1592 ein Thermometer erfunden habe, dessen Röhre an einem Ende offen und mit Wasser und Luft angefüllt gewesen sei.



Fig. 553. Das Drebbelsche Thermometer.

Das Drebbelsche Thermometer (s. Fig. 553) bestand aus einer an dem einen Ende offenen und an dem andern Ende zu einer Kugel ausgeblasenen Glasröhre A, deren offenes Ende in ein Gefäß B mit einer gefärbten Flüssigkeit (blauer Kupferlösung) untergetaucht war. Die Luft im Innern der Kugel A wurde erhitzt, so daß sie zum Teil entwich und bei gewöhnlichen Wärmezuständen die Flüssigkeit bis zu einem gewissen Punkte m der Röhre durch den äußeren Luftdruck emporgetrieben wurde. Eine größere Wärme hatte zur Folge, daß sie, indem sie die Luft in der oberen Kugel ausdehnte, die Flüssigkeit in der Röhre herabtrieb. Bei niedrigeren als den mittleren Wärmegraden dagegen stieg die Flüssigkeitssäule höher. Diese Vorrichtung erhielt mannigfache Abänderungen. Das Flüssigkeitsgefäß wurde gleich mit der Röhre vereinigt, indem man diese ebenfalls unten in eine Kugel auslaufen ließ, welche nach oben zu eine kleine Öffnung erhielt. Becher bog den Schenkel der unteren Röhre wieder aufwärts und füllte ihn zum Teil mit Quecksilber, auf welchem er eine Figur schwimmen ließ, die ihren Stand an einer Skala mittels eines Zeigers bemerkte. Diese Figur wurde auch mit einem Uhrwerk in Verbindung gebracht, so daß ihr Herabgehen dasselbe aufzog und bei den immer wechselnden Wärmegraden eine unausgesetzte Bewegung hervorrief (perpetuum mobile physico-mechanicum).

Die noch heute gebräuchliche und zweckmäßigste Form der Thermometer wurde zuerst von der Florentiner Academia del cimento angegeben. Danach bestand das Instrument aus einer senkrechten, unten zu einer Kugel erweiterten, oben aber geschlossenen Röhre, welche im Innern zum Teil mit Weingeist gefüllt, im übrigen aber leer war. Diese Einrichtung hat bis heute keine wesentlichen Veränderungen erfahren, nur daß man statt Weingeist andre Flüssigkeiten, namentlich Quecksilber, verwendet. Letzteres ist bereits während der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts durch die bekannten drei Physiker, deren Namen noch heute mit den jetzt meist gebräuchlichen Thermometern verknüpft sind, und zwar zuerst durch G. D. Fahrenheit (geb. 1686 in Danzig, gest. 1736 in Holland) um das Jahr 1714, ferner durch R. A. Réaumur (geb. 1683 zu La Rochelle in Frankreich, gest. 1757 in Paris) und durch A. Celsius (geb. 1701, gest. 1757 zu Upsala) angewendet worden. Wir werden auf diese Verbesserer des Thermometers weiter unten (S. 519) zurückkommen. An gegenwärtiger Stelle handelt es sich zunächst um das allgemeine Prinzip der Wärmemessung. Die Röhre des Wärmemessers wird senkrecht aufgehängt und gewöhnlich auf ein Brettchen mit

einer Skala befestigt, an welcher der Stand der Quecksilbersäule, bei größerer oder geringerer Wärme wechselnd, die Wärmegrade anzeigt. Diese Einteilung ist nun bei verschiedenen Thermometern eine verschiedene, durchgängig aber eine ganz willkürliche, und die davon abhängende Unterscheidung von Wärme und Kälte entbehrt somit jedes wirklichen Grundes. Es scheint aber hier von Vorteil, in kurzen Zügen das Wesentlichste über die Wirkungen der Wärme zu betrachten.

Was die Wärme sei, darüber haben sich die Philosophen seit den ältesten Zeiten voneinander sehr abweichende Meinungen gebildet. Da alle physikalischen Erscheinungen mit Wärmeerscheinungen verbunden sind, so wurde man sehr frühzeitig dahin geführt, sie für das hauptsächlichste Agens in der Natur zu halten, und bis auf die jüngste Zeit sind die Ansichten, die man von dem Wesen der Dinge, von der Art und der Ursache ihrer Veränderungen, mit einem Worte von der sinnlich wahrnehmbaren Welt sich bildete, abhängig gewesen von der Vorstellung, die man von dem Wesen der Wärme hatte. Und jede veränderte Auffassung hat, wenn sie zu allgemeiner Gültigkeit durchdringen konnte, auf die Theorien und Methoden der gesamten Naturforschung ihren umgestaltenden Einfluß geübt.

Im Altertum hielt man die Wärme und mit ihr das Feuer für ein Element, ein feines ätherisches Wesen, verschieden von der materiellen Masse der Körper, ohne sich weiter über nähere Eigenschaften Rechenschaft zu geben. Erst Baco von Verulam nahm als Grund der Wärmeerscheinungen gewisse wellenförmige Bewegungen der kleinsten Teilchen der Körper in Anspruch, und Newton pflichtete derselben Ansicht wenigstens für denjenigen Zustand der Körper bei, in welchem sie ins Glühen geraten und also infolge der Wärme Licht ausströmen. Außerdem aber war es ihm bequem, für manche Erscheinungen eine ganz besondere Wärmematerie anzunehmen, welche Anschauung sich unter seinen Nachfolgern mehr und mehr fixierte und in den Theorien Boerhaves und Eulers über das Feuer sich ganz entschieden aussprach. Es gab danach einen besonderen Wärmestoff, eine Feuermaterie, deren Zutritt oder Entweichen die Körper in die verschiedenen Wärmezustände versetzte und sie gleichzeitig mit neuen chemischen Eigenschaften begabte. Eine Ansicht, die durch die Oxydation in der Hitze, die Verkalkung der Metalle eine scheinbare Stütze erhielt und zu einer lange herrschenden, aber irrigen chemischen Theorie führte.

Wir dürfen heute wohl nicht mehr zweifeln, daß ebenso wie das Licht auch die Wärme aus Schwingungen bestehe, in welche die kleinsten Teilchen der Körper durch verschiedene Ursachen versetzt werden. Die Verwandelbarkeit der Wärme in Licht und weitergehend der enge Zusammenhang, welcher alle physikalischen Veränderungen als Phänomene einer und derselben Kraft erscheinen läßt, zwingt uns, für alle diese einzelnen Kraftäußerungen eine gemeinsame Grundform, die Wellenbewegung, anzunehmen. Wir begegnen daher auch, wenn wir die Körper auf ihr Verhalten gegen die Wärme betrachten, ganz ähnlichen Eigenschaften, wie wir sie beim Licht, bei der Elektrizität u. s. w. zu beobachten Gelegenheit haben. Wir finden Körper, welche die Wärme rasch aufnehmen und rasch in ihre ganze Masse weiter leiten; andre wieder, die der Fortbewegung der Wärme einen größeren oder geringeren Widerstand entgegensetzen: gute und schlechte Wärmeleiter. Zu den ersteren gehören die Metalle, Glas, Porzellan, Stein u. s. w., zu den letzteren trockene Luft, Holz, Leder, Filz, Gewebe u. s. w. Die Wärme geht von einem Körper zum andern über, nicht nur bei direkter Berührung derselben, sondern sie strahlt auch durch den luftleeren Raum; der Lichtäther pflanzt also die Wärmewellen weiter; die Wärmestrahlen werden gleich den Lichtstrahlen reflektiert und gebrochen, wie Brennspiegel und Brenngläser beweisen.

Wirkungen der Wärme. Ein Wärmeeffekt ist nur möglich, wenn zwei verschieden warme Körper miteinander in Austausch treten. Wir können annehmen, daß die Wärmestrahlen immer von dem wärmeren auf den kälteren Körper übergehen. Bei dem endlichen Ausgleich besitzen die Körper dann eine Temperatur, die in der Mitte zwischen ihren früheren Temperaturen liegt. Dabei tritt jedoch der Fall ein, daß je nach der Masse und Qualität der eine Körper eine größere Wärmemenge als der andre zum Ausgleich verlangt. Eine bestimmte Wärmemenge vermag in einem Kilogramm Wasser z. B. eine Temperaturerhöhung von 10 Grad zu bewirken; will man aber ein Kilogramm Quecksilber um 10 Grad wärmer machen, so braucht man nur den dreißigsten Teil jener Wärme. Beim Abkühlen geben natürlich beide Flüssigkeiten auch nur ebensoviel wieder her als ihnen zugeführt worden ist, und der schließliche Effekt ist also für das Quecksilber auch ein dreißigmal geringerer.

Dies Vermögen, Wärme zu verschlucken, nennt man **Wärmekapazität**. Die Wärmekapazität des Wassers wäre demnach dreißigmal so groß wie die des Quecksilbers.

Die Wärme wirkt gewissermaßen der Kohäsion entgegen, indem sie die Atome voneinander entfernt. Dadurch vergrößert sie das Volumen der Körper, und es läßt sich diese Wirkung in dem allgemeinen, oft citierten Satze aussprechen: Wärme dehnt die Körper aus, Kälte zieht sie zusammen, womit einerseits nur eine Wärmezufuhr, anderseits nur eine Wärmeentziehung gemeint ist. Wenn wir eine Metallkugel, die genau durch einen Ring bei gewöhnlicher Temperatur geht, erhitzen, so vergrößert sich deren Durchmesser so, daß der Ring sie nicht mehr durch sich hindurch fallen läßt; beim Abkühlen aber verkleinern sich ihre Dimensionen wieder, und wenn der Wärmeüberschuß wieder ganz ausgestrahlt ist, so wird die Kugel ungehindert durch den Meßring wie vorher hindurchfallen.

Ebenso wie feste Körper unterliegen auch flüssige und gasartige diesem ausdehnenden Einflusse, und zwar um so mehr, je beweglicher die Atome in einem Körper sind. Die Gasarten werden daher in ihrem Volumen ganz besonders vergrößert, worauf sich die Einrichtung des Drebbelschen Thermometers gründet. Das Weingeistthermometer der Florentiner Akademie und unser gewöhnliches Quecksilberthermometer zeigen uns die Ausdehnung flüssiger Körper, und auf die Volumenveränderung fester Substanzen bei erhöhter Temperatur gründen sich die **Pyrometer** oder Hitzemesser, welche man zur Messung hoher Hitzegrade, z. B. bei Hüttenprozessen, in Porzellanöfen u. s. w., konstruiert hat.

Außer dieser volumenverändernden Wirkung sind die den Aggregatzustand der Körper verändernden Einwirkungen der Wärme am auffälligsten und in ihrer Bedeutung für das Leben ganz besonders wichtig. Ein Stück Eis, welches erwärmt wird, schmilzt und wird zu Wasser. Dabei erhält sich seine Temperatur, trotzdem daß immer neue Wärmemengen ihm zugeführt werden, konstant auf demselben Punkte, bis alles feste Eis geschmolzen ist. Von da an steigt erst seine Temperatur, bis die Verwandlung des flüssigen Wassers in luftförmige Wasserdämpfe beginnt. Das Wasser gerät dabei durch die sich entwickelnden Dampfblasen in kochendes Aufwallen, und behält diese Temperatur, solange überhaupt noch flüssiges Wasser vorhanden ist.

Die gleiche Wahrnehmung aber, welche wir beim Schmelzen des Eises und beim Verdampfen des Wassers machen können, daß nämlich die zugeleitete Wärme, solange noch festes Eis oder flüssiges Wasser vorhanden ist, lediglich aufgezehrt wird, um den Körper aus dem einen Aggregatzustande in den andern überzuführen: diese Wahrnehmung können wir bei einer großen Anzahl Körper bestätigt finden. Es wird von allen den Körpern, wie Quecksilber, Zink, Schwefel, Phosphor u. s. w., welche eine ähnliche Umwandlung gestatten, in der That Wärme verschluckt, und diese bleibt den Körpern in dem neuen Zustande für jede andre Wahrnehmung unmerklich beigegeben. Wenn wir ein rohes Bild gebrauchen wollen, so können wir flüssiges Wasser als eine Verbindung von Wärme und Eis ansehen, und ebenso Wasserdampf als eine Verbindung von flüssigem Wasser und Wärme. Diese in den Körpern unmerkbar enthaltene sogenannte **latente Wärme** wird wieder frei und wahrnehmbar, wenn die Körper, rückwärts gehend, aus dem gasförmigen in den flüssigen, oder aus dem flüssigen in den festen Zustand übergeführt werden. Körper, welche rasch verdunsten, aus dem flüssigen Zustande rasch in den gasförmigen übergehen, absorbieren bei dieser Gelegenheit große Wärmemengen und sind im stande, die benachbarten Körper, denen sie ihre Wärme entziehen, dadurch bedeutend abzukühlen. Durch die sogenannte **Verdunstungskälte** können wir Wasser zum Gefrieren bringen, wenn wir ein damit angefülltes Gefäß unter den Rezipienten einer Luftpumpe stellen und durch fortgesetztes Auspumpen die sich entwickelnden Wasserdämpfe rasch wieder entfernen, so daß von der Oberfläche fortwährend Dämpfe sich entwickeln. Wir fühlen auf unsrer Hand die kühlende Wirkung rasch verdunstenden Alkohols, und sprengen bei großer Hitze auf die Fußböden unsrer Zimmer Wasser, um der überlästigen Wärme Gelegenheit zu geben, sich in dem Dampfe desselben auf eine uns unmerkbare Weise zu binden. Umgekehrt tritt die freiwerdende Wärme bei der entgegengesetzten Änderung der Aggregatzustände dann auf, wenn die in der Luft schwebenden Wasserdämpfe sich zu Tröpfchen verdichten, oder die als Nebel und Wolken in der Luft schwimmenden Flüssigkeitströpfchen sich in feste Eis- und Schneenadeln verwandeln.

Die Änderung der Aggregatzustände, die Überführung fester Körper in flüssige, flüssiger in gasförmige ist bei weitem die folgenreichste Wirkung der Wärme. Sie allein ermöglicht das organische Leben, wie es jetzt auf der Erde herrscht: der Wechsel der Jahreszeiten, das ganze Reich meteorologischer Phänomene, Morgen- und Abenddämmerung, Wolkenschatten, Gewitter, Regen — sind davon abhängig, daß in der Luft Wasserdampf enthalten ist, und zwar je nach dem Wärmegrade derselben in überschüssiger Menge oder in zur Sättigung unzureichender. Aber

Was ist Dampf? dürfte wohl die nächste Frage sein, die uns beschäftigt. Zum Teil haben wir sie uns früher schon beantwortet, denn wir kennen das Bestreben der vielen Flüssigkeiten, sich fortwährend auszudehnen und aus dem flüssigen Zustande in den gasförmigen überzugehen. Diese Gase nennt man Dämpfe, sie sind nicht zu verwechseln mit den Dünsten; denn während letztere aus einzelnen in der Luft schwimmenden Tröpfchen bestehen und sichtbare Wolken oder Nebel bilden, sind jene vollständig gleichartig in ihrer ganzen Masse, farblos und durchsichtig. Nur einige wenige Körper bilden gefärbte Dämpfe, der Wasserdampf dagegen ist in der gewöhnlichen Luft durch das Auge nicht zu erkennen; er hat, sobald man ihn sieht, aufgehört Dampf zu sein und ist zu Dunst geworden. Läßt man aus dem Ausgußrohre eines Dampfkessels Dampf entweichen, so nimmt unser Auge letzteren erst, und zwar in der Form von Dunst, in einem kurzen Abstande, etwa 1 cm weit, von der Mündung des Rohres wahr; unmittelbar an der Mündung, bis zum entstehenden Dunststrahl, zeigt sich ein klarer durchsichtiger Raum, und diesen füllt der eigentliche, alsbald zu Dunst sich verdichtende Dampf aus.

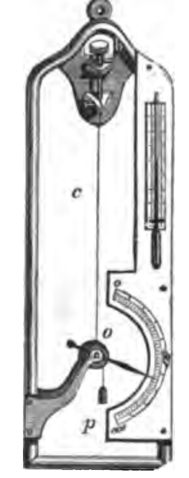


Fig. 554. Saussuresches Haarhygrometer.

Der Wasserdampf ist stets in der Luft enthalten; da er aber in der Kälte wieder zu flüssigem Wasser sich verdichtet, so kann kalte Luft davon auch nur weniger aufnehmen als heiße. Jedem Temperaturgrade entspricht eine gewisse Dampfmenge, bei welcher die Luft gesättigt ist.

Tritt mehr Dampf hinzu oder kühlt sich die gesättigte Luft ab, so verdichtet sich der Überschuß (Nebel, Wolken). Bis zu dem Sättigungspunkte aber steht dem Verdampfungsbestreben kein Widerstand entgegen. Ein trockener Wind, wie er über die öden Landsteppen des inneren Asiens zu uns kommt, entzieht begierig dem Boden und den Pflanzen die Feuchtigkeit, bringt daher in der Regel klare und trockene Witterung mit sich. Der heiße Süd- und Westwind dagegen, der sich über dem Mittel- und Atlantischen Meere mit Wasserdampf gesättigt hat, pflegt in unsern kühleren Regionen seinen Überschuß abzugeben und Regen herbeizuführen.

Die Bestimmung des Wassergehaltes in der Luft ist daher eine der wichtigsten Aufgaben der Meteorologie. Hat die Luft weniger Wasserdampf, als sie ihrer Temperatur nach aufnehmen kann, so ist sie trocken; hat sie mehr, so ist sie feucht. Die verschiedenen Abstufungen aber zu erkennen und zu bemessen, sind eigentümliche Instrumente erfunden worden, nämlich:

Hygrometer oder Feuchtigkeitsmesser. Es gibt eine Menge Körper in der organischen Natur, welche die Fähigkeit besitzen, den in der Luft vorhandenen Wasserdampf in ihren Poren zu verdichten und dadurch an Volumen zuzunehmen. Haare, Fischbein, Kiele, Holz, Stroh und dergleichen Körper sind solche, die man dieser Eigenschaft wegen hygroskopische nennt. Auf ihre wasserziehende Eigenschaft gründen sich nun jene Vorrichtungen, an denen man den Feuchtigkeitsgehalt der Luft und möglichenfalls die Witterungsveränderungen absehen will. Die Wettermännchen, welche in Nürnberg zu Tausenden verfertigt werden, sind bekannt. Bei ihnen hängt im Innern eines kleinen Häuschens eine gedrehte Darmsaite lotrecht herab und trägt eine horizontale Pappscheibe, auf welcher zwei Püppchen, ein Mann und eine Frau, angebracht sind.

Dreht sich infolge größerer Feuchtigkeit die Darmsaite auf, so tritt der Mann mit dem Regenschirme aus seiner Thür, bei trocken werdender Luft dagegen dreht sich die Saite wieder zusammen und die Scheibe läßt aus der andern Thür die Dame mit dem Fächer hervortreten.

Ähnliche Apparate sind in großer Menge unter verschiedenen Formen und aus dem verschiedenartigsten Material hergestellt worden. Einen wirklichen Wert können sie aber alle nicht beanspruchen, deswegen genüge ihre beiläufige Erwähnung. Das erste Hygrometer, das die Form eines wirklichen Meßapparates hat, konstruierte Saussure. Es besteht dem Wesen nach aus einem langen, in Lauge ausgekochten Menschenhaar c (s. Fig. 554), das mit dem oberen Ende an einem festen Punkte und mit dem unteren an dem Umfange einer Rolle o angehängt ist. Verkürzt sich bei trockener Luft das Haar, so erhält die Rolle und der auf ihr sitzende Zeiger eine der Verkürzung entsprechende Drehung. Läßt das Haar wieder nach, so bringt ein kleines Gewicht p, dessen Faden ebenfalls um die Rolle geht und welches das Haar in Spannung erhält, die Rolle und den Zeiger nach der andern Seite herum. Um die beiden Endpunkte der Skala, welche der Zeiger durchläuft, zu ermitteln, bringt man das Instrument zuerst unter eine Glocke, unter der die Luft durch chemische Mittel völlig trocken gemacht wird. Auf die Stelle, wo sich hierbei der Zeiger feststellt, wird o, der höchste Grad der Trockenheit, verzeichnet. Unter einer andern Glocke, deren Inneres mit destilliertem Wasser benetzt ist, wird der höchste Feuchtigkeitsgrad bestimmt. Den Raum zwischen beiden Endpunkten teilt man in 100 gleiche Teile oder Grade. Ähnlich ist Delucs Hygrometer, in welchem statt des Haares ein Stückchen Fischbein benutzt wird.

Instrumente dieser Art sind jedoch auch noch keine eigentlichen Hygrometer, das heißt Feuchtigkeitsmesser, denn sie zeigen nur Veränderungen, und zwar ziemlich ungleich, ohne anzugeben, wieviel Feuchtigkeit in der Luft ist. Die Wissenschaft der Meteorologie bedurfte aber eines Instruments, welches den Wassergehalt der Luft direkt angibt; welches lehrt, wieviel Gewichtsteile Wasser in einem Kubikmeter Luft zu einer bestimmten Zeit enthalten sind. Um dazu zu gelangen, mußte man vorher die Natur der Dünste genauer kennen lernen; man mußte namentlich wissen, daß die Luft bei jedem Temperaturgrade nur ein gewisses Maß von Feuchtigkeit, das sich mit der steigenden Temperatur erhöht, aufnehmen kann. Bringt man einen kalten, festen Körper in warme Luft, so wird er, wie man sagt, beschlagen, d. h. sich mit einem feinen Tau überziehen. Dieser Tau ist derjenige Anteil Wasser, den die den Körper umgebende und von ihm abgekühlte Luft, der Abkühlung halber, fahren lassen muß. Je feuchter die Luft ist, desto eher wird der Taubeschlag eintreten; selbst bei scheinbar trockener Luft stellt er sich ein, wenn man nur den Körper genügend kalt macht.

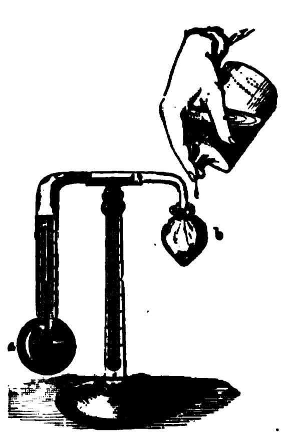


Fig. 555. Daniells Hygrometer.

Sucht man nun, bis zu welcher Temperatur man einen Körper erkälten muß, bis er beschlägt, und bei welcher Temperatur der Beschlag wieder verschwindet, so hat man in dem Mittel zwischen beiden Temperaturen den Taupunkt, d. h. denjenigen Temperaturgrad, bei welchem die Luft gerade mit Feuchtigkeit gesättigt sein würde. Auf der Ermittelung desselben beruht Daniells Hygrometer (Fig. 555). Es besteht aus einer gekrümmten Röhre, welche in zwei Kugeln endigt. Die Kugel a ist teilweise vergoldet oder platiniert, um den Tau besser erkennen zu lassen; sie enthält ein kleines Thermometer und ist halb mit Äther gefüllt. Die Kugel b ist mit einem feinen Leinwandläppchen umhüllt. Das Ganze ist luftleer, den inneren Raum füllen Ätherdämpfe aus. Wird nun etwas Äther auf die Kugel b getröpfelt, so wird dieselbe durch die rasche Verdunstung des Äthers kälter. Die Dämpfe im Innern von b verdichten sich, die Spannung vermindert sich und neue Dämpfe treten aus Kugel a herüber. Letztere muß infolge dieser Dämpfebildung immer kälter werden, so daß endlich auf ihrer Außenseite der Feuchtigkeitsniederschlag erscheint. Bei welcher Temperatur die Taubildung stattfand, zeigt uns das innere Thermometer; ein andres, außen an dem Träger hängendes Thermometer zeigt die wirkliche Luftwärme. Aus der Differenz dieser beiden Thermometerstände, unter Berücksichtigung des Barometerstandes, läßt sich nun bestimmen, welcher Feuchtigkeitsgrad zur Zeit der Beobachtung in der Luft herrscht. Um des jedesmaligen Rechnens überhoben zu sein, benutzt man in der Regel Tabellen, aus denen das Fazit ohne Mühe ersehen werden kann.

Ein ähnliches und vielgebrauchtes Instrument ist Augusts Psychrometer (Naßkältemesser). Es besteht aus zwei gleichen, nebeneinander hängenden Thermometern; die Kugel des einen ist in ein Läppchen gehüllt, welches in ein Glas mit Wasser hinabhängt, so daß es beständig feucht erhalten wird. Wäre die Luft völlig mit Feuchtigkeit gesättigt, so würde kein Wasser weiter verdampfen und daher auch keine Wärme gebunden werden können; beide Thermometer ständen in diesem Falle gleichhoch. Nimmt aber die Luft noch Wasserdampf auf, so wird das nasse Thermometer sinken, und zwar um so rascher und tiefer, je weiter die Luft noch von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist. Aus der Differenz zwischen den beiden Thermometerständen ist dann die Bestimmung der Luftfeuchtigkeit zu ermitteln.

Meteorologie und Meteorograph. Die Änderungen im Zustande unsrer Atmosphäre beruhen fast sämtlich, wenigstens in denjenigen Punkten, welche auf die Witterung einen direkt ersichtlichen Einfluß haben, auf einer Änderung in den Wärmeverhältnissen, auf der Ruhe oder Bewegung in der Luft und auf der Möglichkeit, Wasserdampf aufzunehmen oder feuchte Niederschläge auszuscheiden. Insbesondere bewirken lokale Änderungen an der Schwere und an dem Feuchtigkeitsgehalt der Luft in diesem leichtbeweglichen Elemente, welches jeden Druck nach allen Seiten gleich fortpflanzt und jede Differenz sofort auszugleichen strebt, Gleichgewichtsstörungen, welche in Wind, Regen, Schnee, Wolken u. s. w. zu uns sprechen. Dadurch, daß sie die Luft ausdehnt, wirkt die Wärme der Schwere entgegen, dadurch aber, daß sie das Verdampfen des Wassers begünstigt, wirkt sie druckvermehrend. Liegt in diesem doppelseitigen Verhalten schon eine hinreichende Ursache für eine unendliche Mannigfaltigkeit von Veränderungen, so wird weiterhin in der Umdrehung der Erde um ihre Achse ein gewichtiger Faktor eingeführt, welcher ebenfalls einen fortdauernden Gleichgewichtszustand der Atmosphäre nicht zuläßt. Denn nicht nur, daß die von der Sonne der Erde zuströmenden Wärmestrahlen auf immer andre Punkte gelenkt werden, an denen sich infolgedessen die Luft in Bewegung setzen muß, so übt auch die vom Äquator nach den Polen zu abnehmende Drehungsgeschwindigkeit eine namhafte Wirkung aus auf die ununterbrochenen Luftströmungen, welche infolge der ungleichen Erwärmung zwischen den Polen und dem Äquator stattfinden. Die periodisch wiederkehrenden Stellungsänderungen der Erde zur Sonne werden daher naturgemäß von gewissen Erscheinungen in der Atmosphäre begleitet sein, deren Eintreffen im großen ganzen mit einer großen Regelmäßigkeit stattfinden muß.



Fig. 556. Augusts Psychrometer.

Die verschiedenen Tages- und Jahreszeiten sind mit ihrem Gesamtcharakter der allgemeinen Wärmeverhältnisse immer wiederkehrend. Und für einen Planeten, der eine mathematisch vollkommene Kugelgestalt und eine ebenso strenge symmetrische Anordnung in der Verteilung von Wasser und erdigem oder felsigem Lande besäße, für eine solche Erde würden die verschiedenen Zustände des Luftmeeres ebenfalls in einer vollkommen regelmäßigen Reihenfolge sich wiederholen. Allein bei der wirklichen Beschaffenheit unsres Planeten liegen die Sachen anders. Hier sind die lokalen und temporären Umstände, welche auf die Wirkungsweise der Sonnenwärme Einfluß gewinnen, so wechselnder Art, daß die dadurch bedingten Möglichkeiten des Wetters eine unendliche Mannigfaltigkeit gewinnen.

Wetter oder Witterung nennen wir nämlich die Gesamtheit der atmosphärischen Zustände, wie sie während eines kürzeren oder längeren Zeitraums für eine gewisse Gegend herrschen. Der besondere Zweig der physikalischen Wissenschaften, welcher sich mit der Erforschung der Wetterverhältnisse beschäftigt, und zwar mit der Gesamtheit der Erscheinungen und Veränderungen, welche in der Atmosphäre vorgehen, das ist die Meteorologie.

Aus dem bereits Gesagten werden wir entnehmen können, daß Thermometer, Barometer, Psychrometer die Hauptinstrumente für meteorologische Beobachtungen sind; ihnen schließen sich an die Pluviometer oder Regenmesser, um die in einer gewissen Zeit und

auf einem gewissen Raum gefallene Menge der wässerigen Niederschläge zu bestimmen, Windfahnen, um die Windrichtung, Anemometer, um die Windstärke, Elektroskope und Elektrometer, um die elektrischen Zustände des Luftkreises zu ermitteln, Ozonometer und mehrere andre Instrumente.

Der Einfluß des Wetters auf das Wohlbefinden nicht nur des einzelnen Menschen, sondern auf die Zustände ganzer Länder und Völker ist hinlänglich bekannt. Die letzten Jahre erst haben gezeigt, welch schrecklicher Art die Verheerungen durch Überschwemmungen sein können. Aber abgesehen von derartigen Ereignissen sind es große Gebiete der menschlichen Beschäftigung, welche in den Erträgnissen, die sie gewähren, von der Gunst oder Ungunst der Witterung direkt abhängen. Die Land- und Forstwirtschaft, Weinbau und Jagd, die Schiffahrt mit der Fischerei in erster Reihe und darauf sich stützend eine ganze Folge von Gewerben, die sich wie die Windmüllerei mit der Verarbeitung und Zubereitung von Rohprodukten befassen, auf deren Gewinnung jene ausgehen.



Fig. 557. Anemometer der Witterungsbeobachtungsstätte auf dem Säntis.

Landleute, Windmüller und Schiffer haben daher auch von jeher der Witterungskunde die größte Aufmerksamkeit geschenkt. Von ihnen stammen jene zahllosen Wetterregeln oft in Form kurzer Sinnsprüche her, aus denen die ganze Meteorologie vor dem 19. Jahrhundert bestand. In der Regel fehlt aber diesen, im günstigsten Falle für lokale Verhältnisse mitunter gültigen, empirisch gewonnenen Erfahrungssätzen jede Rückbeziehung auf die letzte Ursache, welche gerade bei den atmosphärischen Vorgängen nur aus der Untersuchung der universellen Zustände erkannt werden kann.

In vielen Fällen sind die gäng und gäben Wetterregeln geradezu Unsinn, wie z. B. die Prophezeiungen des sogenannten hundertjährigen Kalenders, welcher als solcher gar nicht existiert. Jedenfalls hat die Meteorologie, die Physik der Atmosphäre, damit nichts zu thun; für sie existieren die Erscheinungen nur als Wirkungen von Kräften, deren Natur, Stärke und Wechselwirkung sie mittels geeigneter Methoden zu bestimmen sucht, um so ein absolut vergleichbares Material herzustellen, nach welchem sich später eintretende Erscheinungen beurteilen lassen, so daß auf ihre wahrscheinliche Nachwirkung Schlüsse gemacht werden können. Freilich können wir, da diese Nachwirkungen, also die Witterung, vom Zusammenwirken so unendlich vieler und verschiedener Faktoren bedingt wird, deren quantitative Feststellung im vollen Umfange geradezu unmöglich ist, immer nur von wahrscheinlichen Schlüssen reden, welche die Meteorologie in bezug auf das Wetter machen kann. Immerhin ist der praktische Nutzen, welchen die Ausbildung der Meteorologie als Wissenschaft gewährt, ein ganz bedeutender. Wir brauchen nur darauf hinzuweisen, daß durch die Erforschung des Gesetzes der Winde, durch die Erkenntnis der Stürme als Wirbelbewegung um einen fortschreitenden Mittelpunkt, dem Seefahrer die Möglichkeit gegeben ist, der Region

der fürchterlichsten Wirkung zu entfliehen, indem er in möglichst radialer Richtung von jenem Mittelpunkt absteuert. Um nun einen Überblick über die atmosphärischen Zustände in ihrer Gleichzeitigkeit zu erlangen, hat man auf Alexander von Humboldts Anregung ein Netz von meteorologischen Stationen über die Erde ausgespannt, welches seine Maschen immer enger zieht, indem immer mehr solcher systematischer Beobachtungsstellen errichtet werden. An diesem Unternehmen haben sich alle Kulturstaaten beteiligt, und auf meteorologischen Kongressen, die von Zeit zu Zeit abgehalten werden, erledigt man diejenigen Fragen, welche sich auf die Beobachtungsmethoden und auf die Verwertung der mit deren Hilfe erhaltenen Resultate beziehen. Für die Bezeichnung der meteorologischen Erscheinungen hat man eine besondere Chiffernschrift eingeführt, die uns Fig. 558 zeigt.

Es leuchtet ein, daß die Verfahren, nach welchen die atmosphärischen Erscheinungen bemessen werden, auf allen diesen Stationen übereinstimmend sein müssen. Diese Übereinstimmung bezieht sich außer auf die Einrichtung der Instrumente besonders auch auf die gesetzmäßigen Tagesstunden, an welchen der Stand derselben registriert wird. Denn es wird nicht unausgesetzt beobachtet, sondern für die hauptsächlichen Zustände der Atmosphäre, die sich in der Temperatur, dem Drucke und dem Feuchtigkeitsgehalte äußern, genügt es, die Beobachtungen zu einzelnen Tageszeiten zu machen, welche zusammen den wahren Mittelwert am sichersten ergeben. Durch Zusammenstellung der Ergebnisse der einzelnen Stationen erhält man ein annäherndes Gesamtbild des Wetters innerhalb des ganzen beobachteten Gebietes. Für unmittelbar praktische Zwecke ist es nun aber doch wünschenswert, diese Zusammenstellung augenblicklich vornehmen zu können, um die Wirkungen der mitunter in großer Ferne liegenden Ursachen auf unsre Witterungsverhältnisse zeitig genug im voraus zu erschließen. Zu diesem Behufe sind die wichtigsten der meteorologischen Stationen mit einem Zentralpunkte, für Deutschland ist dies die Deutsche Seewarte in Hamburg, telegraphisch verbunden, dem sie ihre Beobachtungen sofort mitteilen und an welchem dieselben unverzüglich verarbeitet und publiziert werden.

●	Regen.	∽	Glatteis.
✱	Schnee.	✢	Schneegestöber.
⌈	Gewitter.	⟵	Eisnadeln.
<	Blitz ohne Donner oder Wetterleuchten.		Starker Wind.
		⊕	Sonnenring.
▲	Hagel.	⦶	Sonnenhof.
△	Graupeln.		Mondring.
≡	Nebel.		Mondhof.
◡	Reif.	⌒	Regenbogen.
	Tau.		Nordlicht.
V	Rauchfrost oder Duft.	∞	Höhenrauch.

Fig. 558. Meteorologische Zeichen.

Durch die Beobachtung zu gewissen Stunden nur erhält man freilich kein zusammenhängendes Bild von den atmosphärischen Zuständen. Man hat daher schon lange versucht, den sich fast stetig ändernden Gang der Instrumente durch diese selbst aufzeichnen zu lassen, und es sind Mittel dazu gegeben in der Art, daß auf einem langsam vorbeipassierenden Papierstreifen ein durch das Instrument bewegter Stift seinen Stand markiert, oder daß von dem Stande des Instrumentes auf dem zu diesem Zwecke besonders präparierten Papiere ein photographisches Bild genommen wird.

Denken wir uns z. B. auf dem Spiegel des kurzen, offenen Schenkels des Barometers, der sich ebenso heben und senken kann wie der des längeren Schenkels, einen Kork schwimmend, der einen Bleistift trägt, welcher auf einem vorbeiziehenden Papierstreifen abfärbt, so wird die Veränderung der Höhe der Quecksilbersäule sich in einer fortlaufenden Kurve ausdrücken, deren höchste Punkte den tiefsten Barometerständen entsprechen, und umgekehrt. Anders auch könnte man direkt hinter dem Spiegel der Quecksilbersäule ein photographisch vorbereitetes Papier vorbeipassieren lassen, welches so weit vom Licht geschwärzt wird, als dieses von dem Quecksilber in der Röhre nicht aufgehalten wird u. s. w. u. s. w.

Auf sehr geistreiche Weise hat der berühmte Astronom Pater Secchi in Rom einen Apparat zusammengestellt, welcher, durch ein Uhrwerk in Bewegung gesetzt, alle meteorologischen Phänomene in genannter Art als Kurven verzeichnet. Es ist dies der selbstthätige Meteorograph, der auf der letzten Pariser Ausstellung die Bewunderung erregte und seit dieser Zeit auf vielen Sternwarten als ein nie rastender Arbeiter angestellt worden ist. Die eine Seite dieses ziemlich umfangreichen Werkes zeigte, außer dem Uhrwerke,

die photographischen Tableaus der Barometerstände, des Trockenthermometers, des Feuchtthermometers und derjenigen Stunden, in welchen Regen gefallen war, sowie die Regenmenge. Die andre Seite dagegen zeigte die Angaben der Stärke des Windes, der Windrichtung, eines zweiten Thermometers, um die Wärme der Sonnenstrahlen zu messen, und eine Kontrolle der Barometerstände und der Regenmengen. Die Tableaus der ersten Seite liefen in $2^1/_2$ Tagen, die der zweiten in 10 Tagen ab. So oft also mußten sie erneuert werden. Während dieser Zeit aber vollendete sich das Bild der atmosphärischen Vorgänge von selbst durch nichts weiter als durch ein scharfsinnig erfundenes Uhrwerk, durch das Ineinandergreifen zahlreicher und mit aller mechanischen Vollkommenheit ausgeführter Hebelkombinationen und durch elektromagnetische Kraftäußerung einer galvanischen Batterie, mittels welcher auf telegraphischem Wege diejenigen Teile in Wirksamkeit gesetzt wurden, welche außerhalb des Beobachtungsraumes lagen.

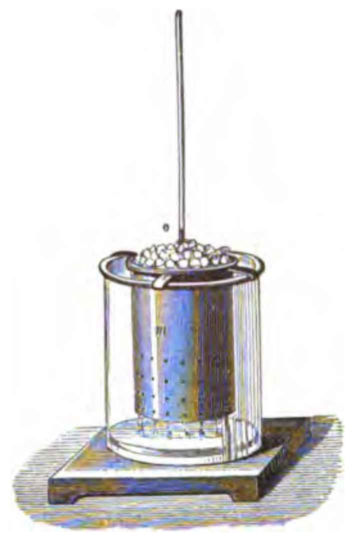


Fig. 559. Bestimmung des Nullpunktes der Thermometerskala.

Anfertigung der Thermometer. Die erste und wichtigste Vornahme, welche bei Anfertigung eines Thermometers getroffen wird, ist die Auswahl einer geeigneten Röhre, im Innern durchgängig von gleicher Weite, was der eigentümlichen Herstellungsweise zufolge nur selten der Fall ist. Diese Röhre wird sodann an dem einen Ende zugeschmolzen und hier mit Hilfe der Glasbläserlampe zu einer Kugel aufgeblasen, an dem andern bleibt sie vor der Hand offen. Zunächst wird nun durch Erhitzen alle darin etwa noch vorhandene Feuchtigkeit ausgetrieben und darauf das offene Ende in ein Gefäß mit Quecksilber getaucht. Beim Erkalten zieht sich die im Innern der Kugel befindliche Luft auf ein geringeres Volumen zusammen, und der Druck der äußeren Luft treibt beim Erkalten das Quecksilber in den dadurch entstandenen luftverdünnten Raum. Zwar füllt sich auf diese Weise die Kugel nicht vollständig, aber es ist dies auch nicht notwendig, denn um den letzten Rest Luft herauszutreiben, darf man nur die Röhre umkehren und das Quecksilber in ihr so erhitzen, daß seine Dämpfe den ganzen Raum nach obenhin erfüllen, und nochmals das offene Ende in das Quecksilber halten. Man kann sehr leicht ermessen, wieviel Quecksilber man eintreten lassen muß, um die Skala bequem anbringen zu können. Etwas weniges mehr schadet nicht, denn man verjagt diesen Überschuß durch Erhitzen und schmilzt, wenn zum offenen Ende der Röhre die Quecksilberdämpfe heraustreten, dieses zu, sicher nun, keine atmosphärische Luft mehr im Innern zu haben. Beim Erkalten verdichtet sich das Quecksilber, es zieht sich in die Kugel zurück und läßt über sich in der Röhre einen luftleeren Raum, in welchen es bei Erhöhung der Temperatur hinaufsteigt, bei Erniedrigung derselben wieder herabsinkt. Die solchergestalt vorbereitete Thermometerröhre setzt man nun, um die beiden Hauptpunkte der Skala zu finden, zunächst in ein Gemisch von Wasser und Eis (s. Fig. 559) und läßt sie hier so lange, bis der Quecksilberfaden in der Röhre sich unverrückbar eingestellt hat. Man bezeichnet diesen Punkt als den Gefrierpunkt (0°).



Fig. 560. Bestimmung des Siedepunktes der Thermometerskala.

Darauf setzt man die Röhre einige Zeit der Einwirkung kochend heißer Dämpfe aus und merkt den Stand des Quecksilbers als den **Siedepunkt** an (s. Fig. 560). Den Raum zwischen Gefrierpunkt oder Schmelzpunkt des Eises und dem Siedepunkt des Wassers teilt man in gleiche Teile, und zwar entweder, wie es der oben (S. 510) genannte schwedische Naturforscher **Celsius** gethan hatte, in 100, oder nach dem Verfahren des französischen Physikers **Reaumur** in 80 Teile oder Grade, so daß also, wenn man den Gefrierpunkt mit 0 bezeichnet, der Siedepunkt bei Reaumur durch den 80., bei Celsius durch den 100. Grad bestimmt wird. Nach diesen Einteilungen sind 4° Reaumur = 5° Celsius, 20° Reaumur = 25° Celsius u. s. w. in gleichem Verhältnis. Die Wärmegrade über dem Gefrierpunkte werden mit dem Zeichen +, die Kältegrade unter dem Gefrierpunkte mit dem Zeichen — bezeichnet.

Etwas umständlicher ist die **Fahrenheitsche** Einteilung, welche vorzugsweise in England, wo Fahrenheit eine Zeitlang gelebt hatte, und weiterhin auch in Nordamerika fast ausschließlich in Gebrauch ist. Fahrenheit nahm den Nullpunkt des Thermometers nicht bei dem Gefrierpunkt des Wassers, sondern bei der seiner Meinung nach niedrigsten Temperatur an, welche er durch eine besondere Kältemischung erhielt. Er teilte von diesem Punkte aufwärts bis zum Siedepunkte des Wassers den Abstand der Röhre in 212 Teile; er unterscheidet also nicht zwischen Wärmegraden (+Graden) und Kältegraden (—Graden), vielmehr fällt bei ihm der Gefrierpunkt auf den 32. Grad, und es entsprechen dann die 80 Wärmegrade Reaumur oder die 100 Wärmegrade Celsius den 180 Graden Fahrenheit vom 32. Grade des letzteren aufwärts bis zu seinem 212. Grade. Das Verhältnis der Gradunterschiede zwischen Reaumur, Celsius und Fahrenheit ist sonach durch die Zahlen 4 : 5 : 9 ausgedrückt.

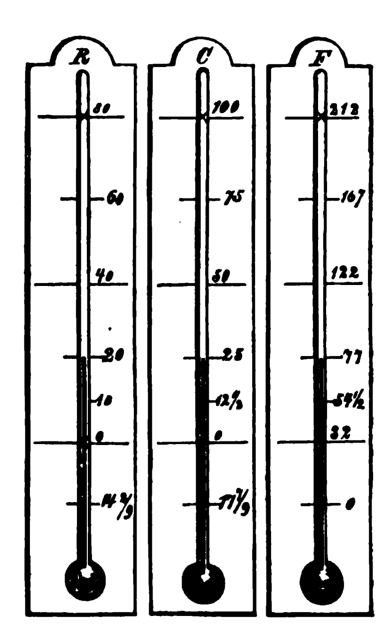


Fig. 561—563. Zusammenstellung der verschiedenen Thermometerskalen.

Wenn man aber eine Gradangabe nach Fahrenheit, worin die englischen und auch die nordamerikanischen Temperaturbestimmungen meistenteils ausgedrückt werden, auf die Skalen von Reaumur oder Celsius zurückführen will, so ist zunächst von der Fahrenheitschen Gradezahl die Zahl 32 abzuziehen und der Rest entweder mit dem Bruch $^4/_9$ zu multiplizieren, was die Gradezahl nach Reaumur ergibt, oder mit dem Bruch $^5/_9$, was auf die Gradezahl nach Celsius führt.*)

Die **Fassung des Thermometers** kann nach verschiedenen Zwecken sehr mannigfach abgeändert werden. Solche Instrumente, die zur Untersuchung von Flüssigkeiten dienen sollen, werden in gläserne, oben zugeschmolzene Röhren eingeschlossen, in denen die Skala, wenn sie nicht direkt auf das Glas geätzt ist, auf Papier verzeichnet mit eingeschlossen ist.

Die besten Thermometer sind, wie alle genauen physikalischen Apparate, ziemlich kostspielige Instrumente, nicht sowohl weil ihre Anfertigung, abgesehen von der äußersten Sorgfalt und Genauigkeit, so große Schwierigkeiten böte, sondern weil die Prüfung und Auswahl der Röhren eine sehr mühsame und zeitraubende Arbeit ist und Röhren von durchgängig

---

*) So ist z. B. bei der aus einem englischen Blatte stammenden Zeitungsnotiz, daß die Engländer im Sommer 1884 eine überaus hohe Temperatur, stellenweise im Schatten bis zu 104° (nach Fahrenheit) gehabt hätten, nach dem oben erwähnten Verfahren (nämlich 104 — 32 = 72; 72 × $^4/_9$ = 32, oder 72 × $^5/_9$ = 40) an eine Temperatur von + 32° Reaumur oder + 40° Celsius zu denken.

gleicher Beschaffenheit, die in ihrer ganzen Länge Cylinder von derselben gleichbleibenden Weite vorstellen, zu den größten Seltenheiten gehören, deren Anfertigung man nicht beliebig in der Hand hat. Mit den Jahren ändern sich auch die Instrumente, indem das Glas zwar langsam, aber lange Zeit hindurch sich noch zusammenzieht und dadurch der Nullpunkt und mit ihm alle übrigen Grade der Quecksilbersäule höher rücken. Bei genauen Beobachtungen müssen diese Umstände berücksichtigt, die Fehler in der Rechnung korrigiert, vor allem aber von Zeit zu Zeit die Instrumente wieder in schmelzendem Eis und in kochendem Wasser auf ihre Beständigkeit geprüft werden. Die besten Thermometer fertigt Greiner in Berlin; der Preis eines Normalthermometers erreicht aber leicht die Höhe von 90 und mehr Mark, während ein gewöhnliches Instrument schon für 1 Mark zu kaufen ist. Ein gutes Thermometer mit sorgfältig ermittelter Skala kann dann zur Regulierung für andre dienen. Die Grenzen für die Thermometerskalen sind je nach der Bestimmung des Instruments engere oder weitere. Während Thermometer für den Hausbedarf z. B. den Siedepunkt des Wassers ebenso gut wie die strengste Winterkälte anzugeben im stande sein müssen, brauchen die Skalen derjenigen Thermometer, deren sich die Ärzte zur Bestimmung der Wärme des menschlichen Körpers bedienen, nur wenige Grade über und unter dem Punkte der Mitteltemperatur (etwa um 36° nach Celsius) zu umfassen.

Um mittels des Thermometers den Wärmegrad eines Körpers zu prüfen, ist es nötig, daß derselbe die Kugel und einen Teil des Rohres möglichst genau und hinreichend lange umgebe, bis das Quecksilber nicht mehr steigt oder fällt. Auch darf keine andre Wärmequelle störend einwirken, daher bei feineren Prüfungen schon die Hand nicht zu nahe gebracht werden darf. Um die Luftwärme zu erfahren, setzt man das Instrument in den Schatten, jedoch nicht an einen zugigen Ort.

Für gewisse Zwecke der Beobachtung hat man Thermometer verschiedentlich selbstregistrierend gemacht, namentlich sie so eingerichtet, daß sich später noch ersehen läßt, welchen tiefsten oder höchsten Stand sie seit der letzten Beobachtung gehabt haben. Man nennt dieselben Maximum- und Minimumthermometer, auch wohl Tag- und Nachtthermometer. Das bekannteste derartige Instrument ist das Rutherfordsche (Fig. 564). Zwei liegende Thermometer sind auf einem Brettchen befestigt, das eine davon mit Quecksilberfüllung für hohe, das andre mit Weingeistfüllung für niedrige Temperaturen. In dem ersteren liegt ein kleiner eiserner Cylinder, welchen das Quecksilber bei seiner Ausdehnung vor sich herschiebt, beim Zurückgehen aber liegen läßt; es bleibt somit der höchste Stand des Quecksilbers markiert, bis man mittels eines Magnets das kleine eiserne Merkzeichen wieder an das Quecksilber herangeführt hat. In dem Weingeistthermometer liegt ebenfalls ein leichtes Körperchen; dasselbe ist aber von Glas und hat ein Knöpfchen oder eine Verdickung an beiden Enden. Solange dieser Zeiger rundum von Weingeist umgeben ist, bleibt er liegen, wenn dieser vorwärts dringt. Zieht sich aber die Flüssigkeit weiter zurück, als der Zeiger ursprünglich lag, so wird dieser mitgenommen, da er nicht die feine Haut an der Oberfläche des Weingeistes durchbrechen kann. — Der Punkt, wo das oberste Knöpfchen des Glaskörperchens liegen geblieben ist, zeigt die inzwischen eingetretene niedrigste Temperatur.

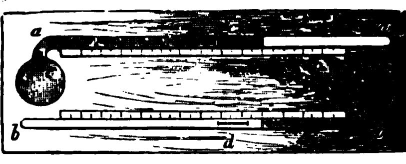


Fig. 564. Maximum- oder Minimumthermometer.

Der Umstand, daß nicht alle Metalle gleichmäßig, sondern das eine mehr, das andre weniger durch Hitze und Kälte ausgedehnt und zusammengezogen werden, hat auf die Konstruktion der Metallthermometer geführt. Der leitende Grundsatz hierbei ist der, daß, wenn verschiedene Metalle der Länge nach miteinander vereinigt, z. B. zusammengeschraubt oder verlötet werden, das so gebildete Ganze nicht immer dieselbe Form behalten kann, sondern sich bei Temperaturveränderungen werfen oder verziehen muß. Hat man z. B. einen Zink- und einen Kupferstab bei mittlerer Temperatur zu einer geraden Stange vereinigt, so wird dieselbe bei steigender Temperatur krumm, und zwar derart, daß das Zink, welches sich mehr ausdehnen will, auf die äußere Seite des Bogens zu liegen kommt. Das Umgekehrte findet in der Kälte statt, wo das Zink kürzer wird als das Kupfer, letzteres daher

sich in den größeren Kreis legen muß. Die Wanderungen des freien Endes der Stange können zur Drehung eines Zeigers und zur Angabe der Skalenteile benutzt werden.

Breguets Metallthermometer besteht aus einem spiralförmig gewundenen Metallband, das mit seinem oberen Ende an einem Träger festgemacht ist und übrigens frei herabhängt. Der Metallstreifen ist aus drei vereinigten Schichten von Silber, Gold und Platina zusammengesetzt; die mittlere, Gold, ist nur zur Zusammenlötung der beiden äußeren da. Silber und Platin werden von Wärme und Kälte sehr ungleich affiziert, und es läßt sich daher denken, daß das freie untere Ende der Spirale nicht immer an seiner Stelle bleibt, sondern bald mehr, bald weniger sich auf- oder zudreht. Diese Drehungen nun werden auf eine lange Nadel übertragen, welche als Weiser an einem Gradbogen dient. Wenn man dem Zeiger eine große Länge gibt, so kann man schon eine aus zwei verschiedenen Metallen der Länge nach zusammengelötete Stange benutzen, um geringe Temperaturdifferenzen weithin, etwa von einem Turme aus, durch ein Zifferblatt sichtbar zu machen.

Die Wärme im Haushalte der Natur. Wenn wir in das Innere unsrer Erde hinabsteigen, so bemerken wir eine stetige Zunahme der Erdwärme, welche auf etwa 30 m jemalig einen Grad (nach Celsius) ausmacht. Die aus beträchtlicher Tiefe hervorquellenden Gewässer der artesischen Brunnen zeigen in ihrer Temperatur eine gleiche Erhöhung und lassen vermuten, daß die Ursache der heißen Quellen und des flüssigen Zustandes vulkanischer Laven nur in der mehr oder weniger großen Tiefe liegt, aus welcher die Ergüsse uns zugesandt werden. Nun geschieht zwar die Wärmezunahme in größeren Tiefen langsamer als in den der Erdoberfläche naheliegenden Schichten, allein mit einer Stetigkeit, welche uns fast widerstandslos zu dem Schlusse zwingt, daß es eine Region gibt, in der die Erdmasse den starren Charakter, welchen ihre Oberfläche besitzt, verliert, und daß sie von dort bis zum Mittelpunkt in feurig-flüssigem Zustande sich befindet. Sie gleicht hiernach einem riesigen geschmolzenen Tropfen, der nur von einer verhältnismäßig dünnen Schale umhüllt wird.

Jeder andre Weltkörper gibt in seiner kugelförmigen Gestalt ein Zeugnis von dem gleichen Gliederungsgange. Die allen eigentümliche rasche Achsendrehung ist Ursache ihrer sphärischen regelmäßigen Gestalt. Dies aber läßt allgemein einen flüssigen Zustand voraussetzen, ein Geschmolzensein der gesamten Masse, so daß wir uns werdende Weltkörper überhaupt im Zustande feurigen Flüssigseins zu denken haben.

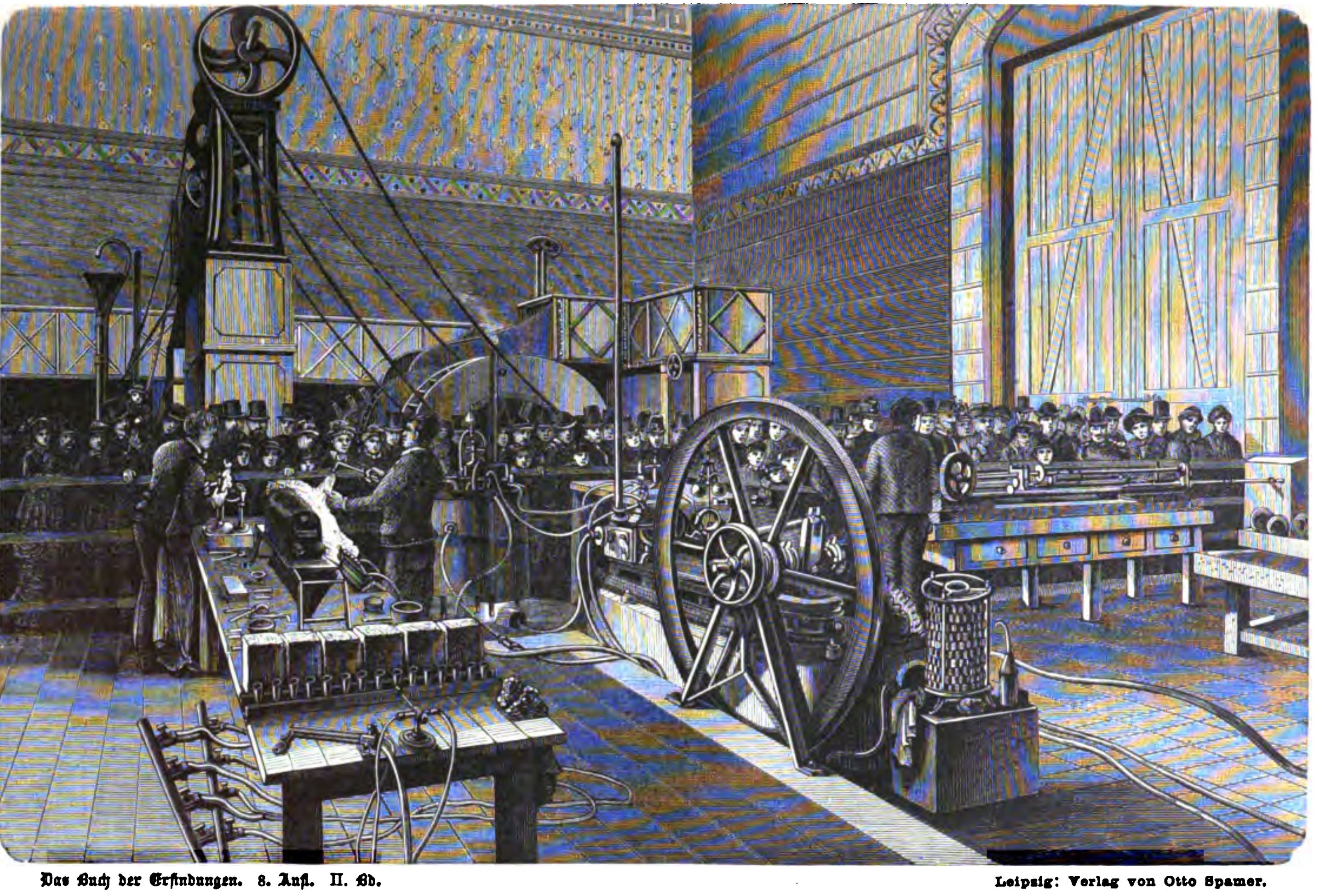
Woher die ungeheure Wärme gekommen ist, welche dieses Schmelzen bewirkte, diese Frage scheint sich zu lösen, wenn wir die Wirkungen chemischer Anziehung und mechanischer Verdichtung ins Auge fassen. Die Materie der Welt erfüllte den unendlichen Raum vor der Entstehung der Weltkörper als eine feine, nebelartige Masse, in welcher die elementaren Bestandteile, jeder mit seinen anziehenden und abstoßenden Kräften, gesondert schwebten. Stellenweise wurde das Gleichgewicht, in dem diese Spannungen sich gegenseitig erhielten, gestört, und es geschah in dem Weltnebel eine teilweise Vereinigung der Materie, die sich auf mehr oder weniger große Räume erstreckte. Innerhalb derselben folgten die einzelnen Teilchen ihrem gegenseitigen Zuge, sie vereinigten sich zu zusammengesetzten Stoffen und entwickelten dabei durch die Verdichtung und das Näheraneinanderdrücken der einzelnen Atome jene ungeheure Wärmemenge, infolge deren die neugebildeten dichteren Körper in glühenden Zustand gerieten und zuerst als glühende Dunstmassen, später bei noch weiter vorgeschrittener Abkühlung und Verdichtung als geschmolzene Tropfen in dem nun von dem kosmischen Staube leeren Raume schwebten. Wir dürfen annehmen, daß diese Aktionen, durch gestörtes Gleichgewicht überhaupt hervorgerufen, mit wirbelartigen Bewegungen vor sich gingen, und darin die Ursache der jenen Körpern verbliebenen Bewegungen suchen.

Der Weltraum, d. h. der Raum zunächst um unser Sonnensystem, ist kalt, viel kälter als die niedrigste Temperatur, die unsre Winter hervorbringen. Man vermutet aus verschiedenen Beobachtungen, daß die Temperatur des Weltraumes sich nicht über —54° C. erhebt, wahrscheinlich aber noch weit darunter hinabgeht. Es ist indes ein fortwährendes Bestreben der natürlichen Kräfte, auf eine Ausgleichung ihrer Gegensätze hinzuwirken. Die Wärme strahlt von den wärmeren Körpern auf kältere nach allen Richtungen über. Infolgedessen verloren auch die feurig-flüssigen Gestirne fortwährend einen Teil der ihnen innewohnenden Wärme, und die Temperatur ihrer Masse erniedrigte sich um so schneller, je

geringer ihr Volumen war. Bei der rascheren Ausstrahlung von der Oberfläche geschah ein Erkalten nach dem Innern hin, und das starr werdende Häutchen der einst flüssigen Kugel nahm an Dicke immer mehr und mehr zu, bis es endlich eine feste Kruste nach außenhin bildete. Geschah dieser Abkühlungsprozeß nun bei Weltkörpern von kleinerem Volumen sehr rasch, so daß der Mond zur Zeit schon eine völlig erkaltete Kugel, ein erstarrtes Knochengerüst darstellt, so dauert er bei größeren Massen entsprechend länger, und bei dem Hauptkörper unsres Sonnensystems, bei der Sonne selbst, hat er augenscheinlich jenen Punkt noch nicht erreicht, auf welchem auch nur die Oberfläche fest geworden wäre und die lichtstrahlende Kraft eines im Feuer geschmolzenen Körpers verloren hätte. Zwischen Mond und Sonne stehen die Planeten, im Innern noch feurig lebendig, aber außen bereis verkühlt. Bei unsrer Erde nun ist bisher, d. h. bis zu unsrer Periode, die Erstarrung zu dem Punkte gediehen, auf welchem die fortwährende Wärmeausstrahlung in den kälteren Weltraum genau durch die Zustrahlung, die die Erde infolge der Sonnenwärme empfängt, wieder ausgeglichen wird. Seit mehr als 2000 Jahren haben sich die Wärmeverhältnisse der Erde wahrnehmbar nicht geändert. Auch hat in dieser Zeit, wie die genauesten astronomischen Beobachtungen zeigen, der Durchmesser der Erde keine merkliche Veränderung seiner Länge erfahren. Dieselbe wäre aber die natürliche Folge, wenn die gesamte innere Erdwärme auch nur um den hundertsten Teil eines Grades sich verringert hätte.

Wie lange dieser Zustand des Gleichgewichts auch aushalten mag und wie ausgedehnt auch der Zeitraum sich gestalten soll, den wir unter dem Begriff „unsre Periode" zusammenfassen, so leuchtet doch ein, daß derselbe kein ewiger sein wird, wenn er auch, wie wir schon in der Darlegung auf Seite 10 dieses Bandes angedeutet haben, für die menschliche Anschauung unabsehbar erscheinen muß. Die Gesamtheit unsres Sonnensystems zahlt an den kalten, ewig mahnenden Begehrer „Weltraum" nicht die Zinsen eines Kapitals, sondern sie zehrt vom Kapitale selbst. So groß dieses ist, unerschöpflich ist es nicht. Die Sonne muß endlich auch an ihrer Außenseite erstarren, so daß sie die Wärmeunterstützung, welche sie den Planeten jetzt noch gewährt, nicht mehr in dem Maße bestreiten kann, und eine allgemeine Erstarrung bereitet sich, wenn auch nur äonenlang, vor. Durch das Aufhören der Bewegung des Mondes und durch das Zusammenfallen desselben mit unsrer Erde würde diese zwar einen ungeheuren Wärmezuwachs wieder erlangen; und so können die Planeten, indem sie in den Mittelkörper allmählich wieder zurückfallen, die Temperatur desselben erhöhen und seine Lebensfähigkeit auf große Zeiträume hinaus verlängern. Allein dies sind nur Aufschübe, und es muß schließlich eine Zeit kommen, wo die gesamte Materie auf einem Punkt sich vereinigt hat, wo Sonnen selbst mit Sonnen sich verschmolzen haben, und die zusammengehäufte Materie nur noch durch die anziehende Wirkung der Molekularkräfte Zusammenhang besitzt.

Welche endliche Wirkung haben dann alle die Kräfte, die das wachsende Leben von heute erhalten, hervorgebracht? Zu was sind die Lichtwellen geworden, zu was die elektrische Kraft? Hat die Ursache der magnetischen Erscheinungen spurlos aufgehört, und wohin hat sich die ungeheure Wärmemenge verloren? Die Antwort auf diese Frage lautet: Alle jene einzelnen Kraftäußerungen, Licht, Elektrizität, Anziehung, Magnetismus, haben ihre Gegensätze ausgeglichen, sie sind vollständig in die eine Form Wärme verwandelt und in dieser durch allmähliche Ausstrahlung von allen Punkten der Materie in den unendlichen Weltraum verteilt worden. Durch die Unendlichkeit des Raumes herrscht überall eine gleiche Temperatur, kein Kälter, kein Wärmer, kein Hell, kein Dunkel, nirgends mehr Bewegung, Wechsel und Kampf, überall Friede und ungestörte Ruhe, aber auch kein Leben, denn nur im Widerstreit schafft sich das Neue.



Das Buch der Erfindungen. 8. Aufl. II. Bd. Leipzig: Verlag von Otto Spamer.

Vorführung neuer Erfindungen im Maschinensaale des Kunst- und Gewerbe-Museums in Paris.



Diese Richtung ist gewiß,
Immer schreite, schreite:
Finsternis und Hindernis
Drängt mich nicht zur Seite.

Goethe.

Der Dampf und die Erfindung der Dampfmaschine.

Die Wärme als Kraftquelle. Feuchtigkeitsgehalt der Luft. Prinzip der Dampfmaschine. Geschichte der Erfindung. Ihr wahres Alter. Das Schiff des Blasco de Garay. Salomon de Caus. Der Marquis von Worcester. Papin und der Papinische Topf. Saverys Dampfmaschine. Newcomen. James Watt und seine doppelt wirkende Maschine. Das Parallelogramm. Die Hochdruckmaschine. Maschine mit Expansion. Einzelne Teile der Dampfmaschine. Steuerung. Schieber. Exzentrik. Maschine mit oszillierendem Cylinder. Der Dampfkessel. Schwimmer und Sicherheitsventil. Konkurrenten der Dampfmaschine. Geschichte und Einrichtung der Gas- und der Heißluftmaschine. Petroleummaschine.

Wir wenden uns von den flachen Ufern eines langsam sich dahin wälzenden Stromes, dessen Niederungen durch reiche Meiereien, blühende Dörfer und gewerbreiche Städte geschmückt sind, seitwärts zu den sanft ansteigenden, Windmühlen tragenden Höhen und wandern weiter und weiter in die Seitenthäler hinein, die von einzelnen Zuflüssen durchrauscht werden. Immer enger und enger rücken die Felswände aneinander, immer steiler und steiler stürzen die rauschenden Fälle herab. Begleitete uns in der ersten Zeit das lustige Klappern der Wassermühlen, denen aus dem flachen Lande das Getreide zugeführt wird, so hören wir an seiner Stelle bald nur noch den eigentümlich schlürfenden Ton großer Sägewerke. Endlich aber, hoch oben, begrüßt uns der weithin schallende Schlag gewaltiger Hämmer. Wir stehen vor einem jener Eisenwerke, wie sie häufig in den rauhesten Teilen der Gebirge angelegt worden sind, um die dort brechenden Erze, deren Transport bedeutende Schwierigkeiten machen würde, an Ort und Stelle aufzuarbeiten.

An den Höhen hin ziehen sich weite Halden und auf allen Seiten klingen die einförmigen Glockenschläge von den verstreuten Grubenhäusern her, zum Zeichen, daß die Pumpwerke noch ihren ungestörten Gang gehen: eine eintönige Musik, die von den hier oben Schaffenden ganz überhört wird. In unsrer unmittelbaren Nähe aber braust es und arbeitet es wie mit tausend Kräften. Große Räder fangen das stürzende Gebirgswasser auf und drehen sich unter ihrer Last, eilfertige Riemen übertragen die Kraft an zahlreiche Wellen und Einzelmaschinen. Darüber ragen hohe rauchende Essen und stoßweise treten aus einzelnen Röhrenöffnungen weiß sich ballende Wasserdämpfe hervor, die in phantastischen Gestalten in den Gipfeln schwarzer Tannen sich verjagen. So mächtig auch der Wassersturz eingreifen mag, er wäre allein nicht stark genug, um allen den Kraftbedürfnissen zu genügen, die in dem ausgedehnten Werke herrschend werden. Hämmer, Hunderte von Zentnern schwer, schmieden die glühenden Eisenmassen, und durch einen einzigen Umlauf pressen große Walzen den Block zu Eisenbahnschienen, formen ihn nach und nach zu schwachem Stabeisen, zu Blech oder ziehen ihn zu Draht aus.

Eine elementare Arbeitsstätte, himmelweit verschieden wie die umgebende Natur von dem sonnigen Flachlande mit all seinem Fleiß — und doch im Grunde wie übereinstimmend! Denn gehen wir dem Ursprunge aller Kraftthätigkeiten nach — überall finden wir eine und dieselbe Ursache, alles bedingend: die Wärme. Sonnenlicht und Sonnenwärme machen Gras und Getreide wachsen und unterhalten dadurch Mensch und Tier in seiner Kraft. Anderseits aber erwärmen die Strahlen der Sonne bei ihrem Laufe über die Erde die auf derselben lagernden Luftschichten ungleich und dehnen sie dadurch ungleich aus; die leichter werdenden erheben sich, die kälteren, schwereren strömen nach der Tiefe, und diese ununterbrochene Bewegung, den Wind, nützen wir in den Windmühlen zur Drehung der Flügel. Die Wärme ist es, welche das Wasser von der Oberfläche der Erde verdunsten macht und als Dampf in die höheren Luftregionen hebt, wo sich dasselbe wieder, wenn kalte Luftschichten sich mit den feuchten, warmen vermengen, zu Nebeln und Wolken verdichtet, auf den Rücken hoher Gebirge niederschlägt, von da aber in zahllosen Äderchen, von der Schwerkraft der Erde angezogen, wieder nach der Tiefe drängt. Die ganze Arbeit, welche das auf der schiefen Ebene vom Bergesrücken bis zum Meere hinunterschießende Wasser durch seinen Fall verrichten kann, seine lebendige Kraft, ist nichts andres als eine Folge, eine andre Form der Sonnenwärme, durch die es zuerst von der Oberfläche der Flüsse als Dampf emporgehoben worden ist.

Alle Kraft ist Wärme, wie alle Wärme Kraft ist. Wir können auf recht sichtbare Weise uns von der direkten Umsetzung der Wärme in mechanische Kraftleistung überzeugen, wenn wir uns an die ausdehnende Wirkung der Wärme erinnern wollen. Im Conservatoire des arts et des métiers waren die Mauern geborsten, und der Riß vergrößerte sich von Tag zu Tage, so daß daraus für das Gebäude eine große Gefahr entstand. Die Trennungsflächen einander wieder zu nähern, war eine schwierige Aufgabe, weil die zu überwältigende Last eine sehr bedeutende war. Indessen gelang die Reparatur vollständig. Man verband die beiden Mauern miteinander durch Eisenstangen und brachte letztere durch untergesetzte Lampen zum schwachen Erglühen; dann zog man ihre nach außen vor die Mauern tretenden Schließen fest an. Beim Erkalten wichen mit großer Kraft die Mauern nach innen. Die Rißflächen wurden wieder aneinander gezwungen, so daß die Mauern in ihrem Zusammenhange nie gestört gewesen zu sein schienen; zu der Arbeitsleistung war nur Wärme verbraucht worden.

Und der Dampf, der die gewaltigen Eisenhämmer spielend in Bewegung setzt, er hat ebensowenig eine eigentümliche, besondere Kraft, wie eine solche in dem Wasser an sich liegt. Er überträgt nur die Kraftwirkung der Wärme. Er ist nur ein Mittelglied, aber freilich ein so zweckmäßiges, wie vorher nicht entfernt eins gedacht worden ist.

Der Dampf reicht mit seinen Eisenarmen in die Eingeweide der Erde; er fördert ihre Schätze an das Tageslicht herauf und verwandelt das ausgeschmolzene Metall in unendlich verschiedene Formen. Wie auf das Gebot eines Zauberers entspringt aus der unförmlichen Masse das schlanke eiserne Schiff; der Dampf baut es, der Dampf bringt es in sein Element, und durch den Dampf überflügelt es in seinem Laufe seine hölzernen Mitkämpfer, deren eichene Rippen Jahrhunderte bedurften, um die gehörige Stärke zu erhalten. Der Dampf mahlt das Mehl zu dem Brote, das wir essen, er spinnt die Wolle und die Baumwolle

zu unsrer Bekleidung, er webt dieselbe und druckt die reiche Pracht der Blumen auf das leichte Gebilde. Tausende von Rädern werden durch den Dampf bewegt, jedes derselben könnte mit einem einzigen Drucke einen Menschen zermalmen, und dennoch ist die schwächste Kindeshand im stande, diese gewaltige Triebkraft zu hemmen. Die Erfindung der Buchdruckerkunst gab dem menschlichen Geiste die Mittel an die Hand, über die Unwissenheit und den Aberglauben zu siegen; die Erfindung der Dampfmaschine setzt uns in den Stand, die Hindernisse zu überwinden, welche in früherer Zeit der physischen Kraft des Menschen unübersteigliche Schranken entgegenzustellen schienen. Jene gab dem Geiste des Menschen Flügel, diese seinem Körper.

Sehen wir eine Dampfmaschine an, so finden wir oft ein kleines, zierlich gearbeitetes und sauber geputztes Ding, von dem es kaum glaublich erscheint, daß alle die gewaltigen Leistungen, denen wir begegneten, von ihm ausgehen sollen. Wie spielend bewegt sich die Kolbenstange in gleichmäßigem Takte auf und ab; ein Schwungrad läuft scheinbar müßig mit herum. Alles Triebwerk erhält seine Bewegung von einer einzigen Hauptwelle. Durch Räder und Getriebe, Laufriemen, Wellen oder andre Apparate wird die Kraft fortgeleitet und überallhin verteilt, wo man ihrer benötigt ist, oft auf weite Entfernungen, hinauf und hinunter, in die Winkel und um die Ecken.

„Mit wieviel Pferdekraft arbeitet die Maschine?“ fragen wir. Fünfzehn, zwanzig, dreißig oder noch mehr werden uns genannt; auf Eisenbahnen und Dampfschiffen hören wir gar von hundert, ja von tausend und mehr Pferdestärken reden. Und alle diese enormen Kraftleistungen — sie scheinen auf die simpelste Weise aus etwas Wasser und etwas Kohlen zu entspringen; das Wasser wird zum Dampf, und der Dampf schiebt einen Kolben vor sich her, dies ist das einfache Mittel zur Erreichung so großartiger Erfolge!

Prinzip der Dampfmaschine. Davon, daß sich unter gegebenen Verhältnissen nicht alles Wasser in der Natur sofort in Dampf verwandelt, ist der Druck der Atmosphäre die Ursache, welcher mit großer Macht auf der Oberfläche jeder Flüssigkeit lastet. Diesem Druck kann man durch Erhitzen des Wassers entgegenwirken, und in dem Augenblicke, wo er vollständig überwunden ist, geschieht die Dampfentwickelung mit überaus großer Lebhaftigkeit. Die Flüssigkeit gerät durch die in ihr entstehenden Dampfblasen in heftiges Aufwallen, sie siedet. Die Expansivkraft des aus einem offenen Gefäße aufsteigenden Dampfes muß dem Druck der Atmosphäre das Gleichgewicht halten. Somit erhält man auf diese Weise stets nur Dampf von der Spannung einer Atmosphäre. Der aus kochendem Wasser aufsteigende Dampf ist nicht heißer als dieses selbst; wir wissen, daß eine große Menge der zugeführten Wärme latent in ihm steckt und ihn befähigt, einen ungleich größeren Raum auszufüllen, als das Wasser früher in flüssigem Zustande einnahm. Wird der Dampf wieder zu Wasser, so wird auch seine latente Wärme wieder frei. Füllt man demnach ein luftleeres Gefäß, das einen Raumgehalt von 1700 Kubikdezimeter haben mag, mit Dampf von 100° Temperatur, so wird derselbe, wie wir schon sahen, mit der Kraft einer Atmosphäre auf die Gefäßwandungen drücken; denselben Druck gibt die Luft auf die Außenwandung, es muß also Gleichgewicht bestehen. Nehmen wir nun $5\frac{1}{2}$ Kubikdezimeter eiskaltes Wasser und bringen es durch eine geeignete Vorrichtung zu dem Dampfe ins Gefäß, so wird derselbe augenblicklich seine Spannung verlieren; seine latente Wärme, die ihn in gasförmigem Zustande erhielt, geht an das kalte Wasser über, welches dadurch eine höhere Temperatur annimmt. Der Dampf selbst aber ist durch den Verlust seiner latenten Wärme wieder zu flüssigem Wasser geworden, und wenn wir das Experiment richtig ausgeführt haben, so enthält schließlich das Gefäß statt $5\frac{1}{2}$ jetzt $6\frac{1}{2}$ Kubikdezimeter Wasser, aber nicht von 0°, sondern von Siedehitze.

Aus diesem Experiment lernen wir mehreres zu gleicher Zeit. Wir sehen erstens, daß von der im Dampf gebundenen Wärme nichts verloren gegangen ist, sondern daß sie sich im freien Zustande wieder vollständig in dem heißen Wasser findet. Denn es ist nachgewiesen, daß, um 1 Kubikdezimeter Wasser von 100° ganz in Dampf zu verwandeln, genau dieselbe Wärmemenge erforderlich ist, welche nötig ist, um $5\frac{1}{2}$ Kubikdezimeter von 0 auf 100° zu erhitzen. Ferner sehen wir, daß der Dampf, nachdem er durch Abkühlung wieder zu Wasser zusammengeschrumpft ist, einen 1700mal kleineren Raum einnimmt. Es bleibt mithin in dem Gefäß, das als überall geschlossen gedacht werden muß, nach der Verdichtung

außer dem Wasser ein Raum von etwa 1693 Kubikdezimeter übrig, in welchem gar nichts enthalten ist, auch keine Luft, denn diese war ja schon vorher durch den Dampf ausgetrieben. Es fehlt also jetzt der innere Widerstand gegen den äußeren Luftdruck und das Gefäß erleidet demnach auf seiner ganzen Außenfläche die von außen nach innen gerichtete einseitige Wirkung des letzteren.

Wäre das Gefäß nun so geformt, daß irgend ein Stück seiner Wandungen nach innen sich verschieben könnte, so würde dies mit um so größerer Kraft hineingedrückt werden, je mehr Quadratdezimeter Fläche es dem äußeren Luftdrucke darböte, d. h. je größer es wäre. Und wenn wir uns das Gefäß als eine weite, unten dicht und oben mit einem beweglichen Kolben verschlossene Röhre denken, so haben wir in der Hauptsache bereits die weiterhin zu besprechende atmosphärische Dampfmaschine.

Der in einem Gefäß isolierte, d. h. nicht mehr mit Wasser in Berührung stehende Dampf von 100° verhält sich gegen die Einwirkungen der Wärme ganz wie die Luft und jeder andre gasförmige Körper; er strebt bei jeder Steigerung der Hitze sich mehr auszudehnen und daher mit immer stärkerer Gewalt gegen die Wände des Gefäßes zu pressen. Ist aber in dem allseitig geschlossenen Gefäße Wasser und Dampf zugleich enthalten, wie in einem Dampfkessel, so verhalten sich die Dinge etwas anders, wie wir gleich sehen werden.

Der Siedepunkt einer Flüssigkeit richtet sich, wie schon angedeutet, nicht allein nach der Natur derselben, sondern auch nach dem Widerstande, den die gebildeten Dämpfe zu überwinden haben, um frei zu werden. Daher siedet Wasser auf hohen Bergen bei einem geringeren Hitzegrade, weil dort der Luftdruck geringer ist, und unter der Luftpumpe kann man schon mäßig warmes Wasser zum Sieden bringen. Es erfolgt daraus, daß, wenn die Widerstände vermehrt werden, auch eine stärkere als die gewöhnliche Erhitzung nötig sein wird, um das Sieden hervorzubringen, also Dampf zu erzeugen. In einem allseitig geschlossenen Dampfkessel, aus welchem der Dampf nicht entweichen kann, haben Wasser und Dampf bei 100° C. oder bei Siedehitze atmosphärischen Druck. Bleibt die Temperatur dieselbe, so bleibt auch die Spannung dieselbe und die Dampfbildung hört auf, solange der Kessel allseitig geschlossen bleibt. Der Dampfraum hat so viel Dampf gefaßt, als er überhaupt bei 100° aufnehmen kann. Dieser Zustand kann aber nicht andauern, wenn die Heizung fortgesetzt wird. Es muß zunächst das Wasser heißer als 100° werden, um noch mehr Dampf entwickeln zu können; das heißere Wasser gibt aber auch heißere und stärker gespannte Dämpfe aus, denn je mehr Dampf in dem geschlossenen Raume sich ansammeln soll, um so mehr muß er zusammengepreßt werden, und mit um so stärkerer Kraft wird er auf das Wasser drücken. Die Dampfspannung wird eine größere, und es tritt die Steigerung sehr rasch ein: ist sie, wie gesagt, bei einer Wasserhitze von 100° 1 Atmosphäre, so ist sie bei 120° schon 2, bei 144° 4, bei 200° 16 Atmosphären.

Erinnern wir uns, daß der Dampf von einer Atmosphäre Druck auf jeden Quadratzentimeter seiner Umgebung mit einer Kraft von 1 kg 33 g drückt, und nehmen wir diesen Druck 4=, 8=, 16fach, so wird es begreiflich, welcher ungeheuren Kraftäußerung der eingepreßte Dampf fähig ist und welche mechanischen Effekte eine Maschine verrichten kann, deren Dampfkessel z. B. bei einer Oberfläche von 20 qm eine Spannung auch nur von 3 Atmosphären (10330 kg) auf den Quadratmeter verträgt.

Der Kohlenverbrauch, wenn wir die aufgewandte Wärme durch die zu ihrer Erzeugung nötige Kohlenmenge bemessen, ist für diese Verhältnisse ein ganz bestimmter, und es ist für die Theorie der Dampfmaschine und für die Beurteilung ähnlicher Apparate ganz unerläßlich, einen Blick in diesen gesetzmäßigen Zusammenhang zu werfen.

Um die Temperatur eines gewissen Volumen Wassers von 0° bis auf 100° zu erhöhen, ist immer genau dieselbe Wärmemenge erforderlich. Zu ihrer Erzeugung bedürfen wir, wenn wir Kohle von derselben Beschaffenheit verwenden, auch genau derselben Kohlenmenge. Anderseits wissen wir, daß eine bestimmte Wärmemenge immer denselben Arbeitseffekt bewirkt, sei es durch Ausdehnung oder in irgend einer andern Weise. So entspricht die Wärmemenge, welche erforderlich ist, um 1 kg Wasser in seiner Temperatur um 1° Celsius zu erhöhen, einer mechanischen Kraft, welche ein Gewicht von 424 kg auf die Höhe von 1 m oder, was dasselbe ist, ein Gewicht von 1 kg auf 424 m Höhe zu heben vermöchte. Ein Kilogramm reinste Kohle würde bei seiner Verbrennung, wenn es möglich

wäre, alle Wärme in mechanische Kraft ohne Verlust zu verwandeln, eine Last von 1 Zentner auf 67 1/2 km Höhe heben, und doch ist die bei seiner Verbrennung entstehende Wärme nur im stande, 8086 kg Wasser um einen Grad des hundertteiligen Thermometers zu erwärmen.

Wir haben für die Beurteilung mechanischer Arbeit das Heben von Lasten als Maßstab angenommen. Bekanntlich geschieht dies in der Technik allgemein und die Maßeinheiten Fußpfund, Meterkilogramm oder Kilogrammmeter bedeuten weiter nichts als Kraftgrößen, welche im stande sind, die Last von einem Pfund auf einen Fuß Höhe, beziehentlich von 1 kg auf 1 m Höhe u. s. w. zu heben.

Unsre Dampfmaschinen, so großartig auch ihre Leistungen erscheinen, erlauben freilich lange noch nicht den ganzen Arbeitseffekt der durch das Brennmaterial erzeugten Wärme auszunutzen. Dies kommt hauptsächlich daher, weil ein großer Teil der Wärme von dem Wasser beim Verdampfen verschluckt wird und als latente Wärme der Ausnutzung verloren geht. Die Vervollkommnung des Dampfmaschinenwesens ist daher ein Gegenstand von der höchsten nationalökonomischen Wichtigkeit. Wenn auch bei einer fortgesetzten Ausbeutung, wie die jetzige, die Besorgnisse, daß unser verfügbarer Kraftreichtum, die Steinkohlen-, Braunkohlen- und Torflager, einer endlichen Erschöpfung immer näher rückt, lange nicht so beängstigend sind, als es manchen Leuten erscheint, so gebietet doch der nächstliegende Vorteil, mit einem Nutzeffekt von 18—20 Prozent, wie ihn unsre bestkonstruierten Dampfmaschinen nur geben, sich nicht zu begnügen.

Sind trotzdem die Leistungen der Dampfmaschine noch die billigsten, so liegt dies zum Teil mit in einer falschen Schätzung. Wir taxieren die Kraft nach zufälligen Begriffen, wie den wechselnden Wert des Goldes und Silbers, anstatt daß wir die wirklich nutzbare Arbeit als Ausgangspunkt annehmen und darauf alles übrige beziehen müßten. Kohle, gleichbedeutend hier mit mechanischer Kraft, ist die einzige rationelle Währung. Sobald man dies erkannt hat, wird man anders wirtschaften; solange dies nicht der Fall ist, läßt man sich gern von den erreichten Erfolgen berauschen und versäumt darüber ihre mögliche Erhöhung.

Geschichte der Erfindung. Man hat bei der Dampfmaschine, gerade wie bei allen andern bedeutenden Erfindungen, immer nicht weit genug zurück in das Altertum gehen zu können geglaubt, um die letzten Spuren oder vielmehr die ersten Keime davon zu entdecken. Es gibt und noch mehr es gab vordem eine Klasse von Historikern, welche alles Große und Bedeutende sich nicht anders als in den frühsten Zeiten bereits vorhanden oder doch wenigstens als damals schon von einigen gekannt und erfunden denken konnten.

Ihnen zufolge sollte auch die Dampfmaschine bereits ein Alter von zwei Jahrtausenden hinter sich haben. Mühselig wurden alle Nachrichten, die nur einigermaßen in ähnlicher Weise sich deuten ließen, gesammelt und gewaltsam zugerichtet, um einen Beweis zu führen, der ganz gegen jedes Verständnis der Sache und der Zeit gerichtet war. Daß die alten Griechen und Römer den Dampf ebenso gut kannten wie wir, daß ihnen wohl auch das Kraftvermögen in dem Wasserdampfe nicht ganz unbekannt geblieben war, wird keineswegs bezweifelt; daß aber die Dampfmaschine, d. h. die systematische Ausnutzung der Expansion des Dampfes zum Zwecke der verschiedenartigsten Arbeitsleistung, nicht von ihnen erfunden worden ist, das ist ebenso sicher und dem unbefangen Blickenden ohne weiteres einleuchtend. Eine zufällige Beobachtung, eine unvorhergesehene Entdeckung — ist noch keine Erfindung. Die wirkliche Erfindung wird gemacht, ist eine natürliche Frucht vorhergegangener Anstrengung; sie wird von der Zeit geboren und vom Bedürfnis gesäugt. Alle diejenigen Versuche, welche man aus dem Altertume und bis in das 18. Jahrhundert citiert, um darin den Ursprung der Dampfmaschine bloßzulegen, sind für die bedeutsamste aller Erfindungen der Neuzeit von keinem Wert. Sehen wir uns einige derselben an.

Die älteste uns überlieferte Anwendung der Dampfkraft, wenn sie auch noch nicht einem praktischen Zwecke diente, wird dem bekannten Mathematiker des Altertums Archimedes von Syrakus (geb. 287 v. Chr.) zugeschrieben. Die fragliche Überlieferung stammt wahrscheinlich aus dem uns verloren gegangenen arabischen Texte einer Schrift des alten Meisters, woraus sie Leonardo da Vinci (geb. 1452) seinen Zeitgenossen mitgeteilt hat. Des Archimedes Vorrichtung wäre danach eine Art Dampfkanone, „Erzdonnerer“ genannt, welche aus einem kurzen Rohre mit dachrinnenförmiger Verlängerung eine Kugel schleuderte, sobald man aus

einem stark erhitzten Wassergefäß Dampf in die Röhre und gegen die Kugel strömen ließ. Eine ähnliche Vorrichtung zum Fortschleudern von Wurfgeschossen, bei welcher man jedoch statt des Wasserdampfes zusammengedrückte Luft anwendete, ist nach dem Berichte des Phylon von Byzanz ebenfalls im 2. Jahrhundert v. Chr. unter dem Namen „Luftspanner“ von dem damals bekannten Physiker Ktesibios zu Alexandrien hergestellt worden. Letzterer hat dann auch mit seinem vielgenannten Schüler Heron von Alexandrien (geb. 120 v. Chr.) Versuche in der Benutzung des Wasserdampfes zur Bewegung einzelner Körper angestellt, wie es uns Heron selbst in seiner Schrift „Von dem Luftigen“ mitgeteilt hat. Dahin gehört z. B. der Versuch mit der sogenannten tanzenden Kugel, welche durch den Wasserdampf, der in einem Gefäß erzeugt aus einem damit verbundenen Rohre gegen die Kugel ausströmt, emporgeworfen und schwebend bewegt wird; ferner eine metallene Figur, herumgewirbelt durch den aus einer angesetzten Trompete ausgetriebenen Dampf. Ein etwas praktischerer Zweck als mit allen diesen Spielereien scheint mit einem vierten Versuch verbunden gewesen zu sein. Es ist dies die Benutzung einer Figur aus Erz, die einen Priester vorstellt, welche aus einem Kruge auf die an einem Altarrand stehende Schale Wasser gießt, nachdem man die Opferflammen des Altars angezündet hat. Letztere erwärmt nämlich den hohlen und teilweise mit Wasser gefüllten Altar, worauf die Dampfspannung das Wasser in eine Röhre, die in der Figur mündet, emportreibt.



Fig. 566. Herons Drehkugel.
AB Wassergefäß. CD Deckelverschluß desselben. EFG Knierohr für die Dampfleitung. LM Zapfen zur Stützung der Kugel. H und K Ausströmungsrohre des Dampfes.

Am meisten bekannt geworden ist der vierte Apparat von Heron, die sogenannte Drehkugel. Es ist dies eine hohle Metallkugel, auf der einen Seite durch einen Zapfen LM gestützt, auf der andern Seite bei G im Anschluß an ein Knierohr GFE, welches die Kugel mit dem Wassergefäß AB verbindet. Leitet man aus diesem Gefäße hochgespannten Dampf in die Kugel, so wird derselbe zu den Seitenlöchern der Röhren H und K herausgepreßt und die Kugel muß, wie die Turbine, durch die Rückwirkung des ausgestoßenen Dampfes getrieben, nach der entgegengesetzten Seite hin in rasche Umdrehung kommen. Diese Dampfkugel des Heron könnte daher mit demselben, wenn nicht mit noch größerem Rechte als die erste Erfindung der Turbinen oder Kreiselräder angesehen werden.

Eine andre Dampfspielerei wird uns aus den Zeiten der griechischen Kaiser berichtet. Ein gewisser Zeno gab einst seinen Freunden ein Gastmahl in einem Zimmer, das zufällig über den von Anthemios, mit welchem Zeno zur Zeit gerade nicht in besonderer Harmonie lebte, bewohnten Gemächern lag. Anthemios aber soll, um jenem einen Possen zu spielen, einen Kessel mit Wasser in Bereitschaft gehalten, ein tüchtiges Feuer darunter angezündet und durch Röhren die Dämpfe dergestalt gegen die Zimmerdecke geleitet haben, daß das Gebäude erbebte und die Gäste, ein Erdbeben vermutend, in höchstem Schrecken auf die Straße geflüchtet seien. Diese Geschichte beweist noch weniger als die vorigen, zumal die Leitung von Dampf gegen die Zimmerdecke diese nicht erbeben machen konnte.

Eine weitergehende und länger dauernde Aufmerksamkeit, als die bisher erwähnten Dampfkunststücke, hat eine ähnliche, aber vermutlich erst später eingeführte Spielerei, welche uns der unter Kaiser Augustus thätige Baukünstler und Mechaniker Vitruv beschrieben hat, auf sich gezogen. Es ist dies der sogenannte Äolusball (Aeolipile), eine hohle Metallkugel, welche nach geschehener Erwärmung und somit Verdünnung der in ihr enthaltenen Luft mittels einer feinen Öffnung Wasser einsaugt und dann aus der letzteren, nach erneuter Erhitzung, den hierdurch entwickelten Dampf herausbläst. Mit dieser Äolipile ist vielfach die vorher beschriebene Drehkugel Herons verwechselt worden. Aber Versuche mit dem Äolusball sind während des ganzen Mittelalters und noch bis in die neuere Zeit von zahlreichen Gelehrten und Physikern angestellt, meist zu dem theoretischen Zwecke, die Umwandlung des einen Elementes in ein andres zu veranschaulichen. Auch der bekannte Naturforscher Hieronymus Cardanus (geb. 1501 zu Pavia) hat sich mit dem Äolusball beschäftigt und

(1557) Verbesserungen für das Ansaugen und Ausblasen angebracht; ja der französische Baumeister Philibert Delorme (geb. 1515 zu Lyon) dachte daran, jener Spielerei einen nützlichen Zweck, nämlich die Vermeidung des Rauchens der Schornsteine, abzugewinnen.

Eine wirklich praktische Verwendung der Dampfkraft blieb aber allen jenen Physikern um so ferner, als sie nicht einmal die eigentliche Natur des Wasserdampfes begriffen hatten. Die Mechaniker des Altertums sahen in demselben nur Luft, welche durch Feuer aus Wasser erzeugt worden, und konnten deshalb auch eine weitergehende ernstliche Benutzung der Dampfkraft nicht einmal ins Auge fassen.

Noch geringeren Wert für die eigentliche Geschichte der Erfindung der Dampfmaschinen haben eine Reihe von Fabeln, welche, aus nationaler Eitelkeit hervorgegangen, diese Erfindung auf verschiedene Namen mit übertragen, insbesondere auf den Spanier Garay, den Italiener Branca und den Franzosen de Caus. Der spanische Seekapitän Blasco de Garay, welchem, vielleicht infolge eines Mißverständnisses, der Archivdirektor Gonzales den Betrieb von Schiffen mittels einer um 1543 hergestellten Dampfmaschine nachrühmt, hat allerdings mehrere Versuche zu einer neuen Fortbewegung der Schiffe gemacht, indessen nur mittels Schaufelräder, welche durch Kurbeln umgetrieben wurden. Johann Branca, bekannt als Erbauer der Kirche von Loretto, hat lediglich in ähnlicher Weise, wie es schon Heron gethan, Versuche angestellt; er ließ, wie er in seinem Buche „Die Maschinen“ 1629 berichtet, durch den Äolusball auf ein kleines Schaufelrad blasen und hiermit ein Stampfwerk in Bewegung setzen.

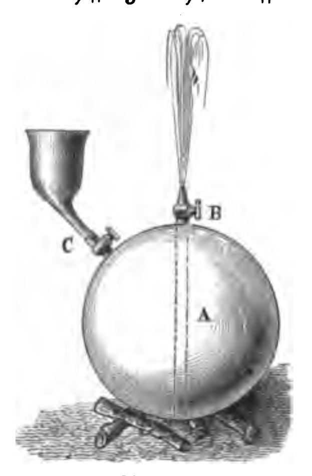


Fig. 567.
Dampfapparat von de Caus.
A Röhre im Innern eines kupfernen Ballons. B Ausflußrohr des Dampfes bez. erhitzten Wassers. C Vorrichtung zur Einfüllung von Wasser in das Kupfergefäß.

Der Baumeister und Ingenieur Salomon de Caus endlich (geb. 1576 zu Dieppe), welcher lediglich einige automatische Spielereien ähnlich dem Mechanismus bei der Heronschen Altarfigur in seinem 1615 erschienenen Werke über die Ursachen der bewegenden Kräfte vorführt, ist ohne sein Wissen und Wollen zum Erfinder der Dampfmaschinen und zugleich zum Märtyrer seiner Erfindung gestempelt worden. Er selbst hat weder die fragliche Erfindung von sich behauptet, noch in der That wegen derselben das ihm angedichtete Schicksal der Einkerkerung in ein Irrenhaus erlitten.

Schließlich wollen wir noch eines Engländers, des Marquis von Worcester, gedenken, welchem seine Landsleute eine Zeitlang ernstlich die Erfindung zuschreiben wollten. Es handelt sich dabei um eine Verwendung der Wärme zur Wasserhebung; aber der Versuch zur Lösung dieser Aufgabe ist in eine so verworrene Darstellung gekleidet, daß sie bisher von niemand hat verstanden werden können.

In dem um 1663 vom Marquis von Worcester herausgegebenen Buche „Hundert Erfindungen“ findet sich folgende Beschreibung des angeblich von ihm erfundenen Apparates:

„Ich habe eine wunderbare und kräftige Art erfunden, das Wasser durch Feuer zu heben, nicht durch eine Saugpumpe, bei welcher, wie bekannt, die Höhe der Aufsaugung begrenzt ist, sondern auf eine andre Art, wo, sobald ich die Gefäße nur fest genug machen konnte, die Höhe, zu welcher ich das Wasser heben kann, unbeschränkt ist. Nachdem ich nun die Art und Weise gefunden hatte, meine Gefäße stark genug zu machen, daß sie dem inneren Drucke widerstehen konnten, füllte ich ein Gefäß nach dem andern abwechselnd mit kaltem Wasser und erlangte durch die Anwendung der Dämpfe eine Fontäne, welche ohne Unterlaß einen Strahl von 40 Fuß Höhe gab. Ein Raumteil in Dämpfe verwandeltes Wasser trieb mir auf solche Weise 40 Raumteile kaltes Wasser empor, und es bedurfte nur eines Mannes, welcher nichts weiter zu thun hatte, als zwei Hähne zu drehen, um entweder Dämpfe in das gefüllte Gefäß oder kaltes Wasser in das entleerte zu leiten. Dabei aber mußte das Feuer stets lebhaft unterhalten werden.“

Wir bezweifeln stark, daß der Marquis den hier von ihm beschriebenen Apparat jemals anders als im Kopfe konstruiert hat. Wenn er trotzdem in einer späteren Schrift

auf jene verworrene Beschreibung sein Verdienst um die Erfindung der neuen Kraftmaschine gründen will, so bedeutet dieses Unterfangen gerade so viel, als wenn ein Märchenerzähler, der einmal von einem Wagen gesprochen, welcher sich ohne Pferde bewegt, nun deshalb später den Ruhm sich zueignen wollte, die Lokomotive erfunden zu haben.

Eine bei weitem wichtigere Erscheinung in der Geschichte der Dampfmaschine als alle die genannten tritt uns aber in Dionysius Papin entgegen, dessen Name allgemein bekannt ist, denn wer von uns hätte nicht von dem Papinschen Topfe gehört, der sich vielfach in größeren Wirtschaften befindet, und dem Zwecke dient, aus Knochen und Fleischabfall kräftige Suppen zu bereiten? Fig. 568 stellt uns einen solchen Apparat dar. Er besteht aus einem eisernen Topfe A von starken Wänden, dessen Deckel bei B sich luftdicht aufschrauben läßt. Wird der mit Wasser, Fleisch, Knochen u. s. w. gefüllte und fest verschlossene Topf erhitzt, so treiben die hochgespannten Dämpfe das Wasser mit Gewalt in die Poren der im Topfe enthaltenen festen Substanzen und ziehen die darin befindlichen Nahrungsstoffe viel vollständiger aus, als es beim gewöhnlichen Kochen geschieht.



Fig. 568. Der Papinsche Topf.

Papin also, der Erfinder jener Kochvorrichtung, ein Franzose (geb. 1647 zu Blois), welcher längere Zeit in England und auch in Italien sich mit physikalischen Arbeiten beschäftigt und im ersteren Lande, um 1680, auch seinen Kochapparat erfunden hatte, war von dem Landgrafen Karl von Hessen, einem Förderer der Wissenschaften, als Professor nach Marburg berufen und dort zu neuen Versuchen in der praktischen Verwendung der Wasserdämpfe veranlaßt worden. Ihm verdanken wir denn auch in der That den entscheidenden Fortschritt auf dem Wege, die eigentliche Natur des Wasserdampfes zu erkennen und letzteren als Kraftmittel für nützliche Zwecke zu verwerten. Es gelang ihm nämlich die Entdeckung der Eigenschaft des Dampfes, sich durch Abkühlung niederschlagen zu lassen. Er kam auf den Gedanken, einen massiven Kolben, ähnlich dem in einer gewöhnlichen Saugpumpe, aber ohne Klappe, durch die elastische Kraft des Dampfes in die Höhe zu treiben, dann den Dampf plötzlich abkühlen und sich wieder in Wasser verwandeln zu lassen. Da nun der Dampf einen 1700mal größeren Raum einnimmt als das Wasser, so mußte — bei dieser plötzlichen Verdichtung — unter dem Kolben ein luftleerer Raum entstehen und die auf die Oberfläche drückende atmosphärische Luft denselben wieder in die Röhre hinabdrücken. Papin beschrieb seine Idee in einer eignen Schrift und machte auch ein Modell der Maschine; die Sache hatte indessen keinen weiteren Erfolg, da sie in Deutschland unternommen wurde, wo schon damals fast nur alles das Anerkennung fand, was aus dem Auslande kam.

Es heißt nun, daß der englische Kapitän Thomas Savery, welcher von der Papinschen Schrift Kenntnis erhalten hatte, alle Exemplare derselben, deren er habhaft werden konnte, aufgekauft und vernichtet habe; im folgenden Jahre sei er dann mit einer eignen Erfindung hervorgetreten, die weiter nichts war als eine geschickte Verbindung der Maschine des Marquis von Worcester mit Papins Maschine. Das Patent der ersten Saveryschen Maschine stammt aus dem Jahre 1698.

Wir stoßen in der Geschichte der Erfindungen so oft auf angebliche Entfremdungen, die häufig alles Grundes entbehren, daß uns die Geschichte von der Büchervernichtung durch Savery nicht ganz geheuer vorkommen will; wir haben sie aber erwähnt, um unser Bedenken gegen ihre Richtigkeit auszusprechen. Jedenfalls sehen wir, daß jetzt die Dampfmaschine im Werden begriffen war; die Idee hatte Wurzel geschlagen, und ein Fortschritt konnte bald hier, bald da gethan werden, ohne daß allemal ein Diebstahl begangen werden mußte.

Saverys Dampfmaschine, welche in ihren Hauptteilen in Fig. 569 dargestellt ist, bestand aus zwei Kesseln, L und D, deren jeder seine eigne Feuerung hatte, und zwei Dampf- und Wassercylindern PP. Ehe die Öfen geheizt wurden, füllte man durch die mit Hähnen versehenen Einlässe N und G den Kessel L bis auf zwei Drittel seiner Höhe, den Kessel D aber ganz voll Wasser und verschloß dann beide Einlässe luft- und dampfdicht. Nun heizte man bei B den Kessel, und sobald sich die Wasserdämpfe bildeten, öffnete man den Hahn des Cylinders P, welcher im Durchschnitt gezeichnet ist; der Dampf strömte aus L durch die Röhre O nach P über und verdrängte die dort befindliche Luft, welche durch das Ventil R in das Rohr S entwich. Sobald der Cylinder P mit Dampf gefüllt ist, was man an dem Heißwerden seines Bodens erkennt, wird der Einlaßhahn geschlossen und dafür der des zweiten Cylinders P geöffnet, worauf die Dämpfe auch aus diesem Cylinder die Luft austreiben. Währenddessen wird ein Strom kalten Wassers auf den ersten Cylinder geleitet, wodurch die in demselben befindlichen Dämpfe sich zu Wasser verdichten und infolgedessen einen viel kleineren Raum als zuvor einnehmen, während der übrige Teil des Cylinders luftleer ist. Diese Leere — das Vakuum — wird aber sogleich ausgefüllt, indem der Druck der äußeren atmosphärischen Luft das Wasser aus dem Behälter unterhalb M durch das unter R befindliche Ventil in den Cylinder P aufwärts treibt. Sobald dieser Cylinder mit Wasser gefüllt ist, öffnet man den Dampfhahn desselben, und es treten nun Dämpfe aus L über das Wasser und drücken dasselbe, wie vorhin die Luft, durch das Ventil R in das Steigrohr S, von wo aus dasselbe abfließt. Der zweite Cylinder ist nur dazu vorhanden, um abwechselnd mit dem ersten zu arbeiten und dadurch eine ununterbrochene Wasserhebung zu bewirken, indem, während in dem einen Wasser auffsteigt, in dem andern Wasser ausgetrieben wird, und so umgekehrt. Die Röhre E, welche wir in unsrer Zeichnung sehen, stellt eine Verbindung zwischen dem Steigrohr S und dem Kessel D her und leitet aus jenem so viel Wasser herbei als nötig ist, diesen Kessel stets gefüllt zu erhalten. Derselbe dient als Nachfüller für den Kessel L, indem ganz nach Art der Erfindung von de Caus durch das Feuer in B so viel Dämpfe erzeugt werden, daß das Wasser aus D durch die Röhre K nach L hinübergedrückt wird.

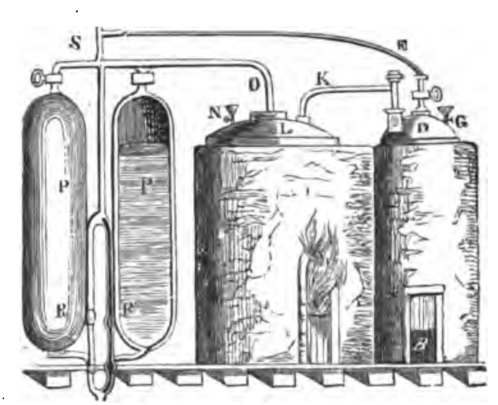


Fig. 569. Saverys Dampfmaschine.

Wie man sieht, unterscheidet sich die Saverysche Maschine von der Papinschen in einem ganz wesentlichen Punkte: es fehlt ihr nämlich der Kolben, welchen Dionysius Papin angebracht hatte. Im übrigen lief die Dampfmaschine, bei welcher sich während des Auftreibens der Wassersäule eine schädliche Kondensation des Dampfes entwickelte, auf eine nur sehr geringe Dampfleistung hinaus, so daß sie zu industriellen Zwecken kaum verwendet werden konnte; man benutzte sie fast ausschließlich zum Betriebe von Springbrunnen.

Im Jahre 1705 erfuhr Papin durch Vermittelung des berühmten Mathematikers Leibniz Näheres über die Maschine von Savery. Er hatte inzwischen die Vervollkommnung der eignen Erfindung aufgegeben und bemühte sich nun um so eifriger, den Gedanken von Savery zu verbessern. Zu solchem Zwecke schaltete er zwischen Dampf und Wasser den Kolben ein und verhinderte hierdurch wenigstens zum Teil eine nutzlose Niederschlagung des Dampfes. Es gelang ihm, die verbesserte Maschine zum Zwecke der Bewegung von kleinen Dampfschiffen zu verwenden, mit welchen er 1707 auf der Fulda wohlgelungene Probefahrten machte. Seine Absicht, wieder nach England zu übersiedeln, um dort seine Erfindung zu vervollkommnen und in größerem Maßstabe auszubeuten, wurde durch sein Ableben vereitelt, welches ihn bald nach seiner Ankunft in England ereilte. Nun bemächtigten sich andre des genialen Gedankens von Papin, und sie suchten ihn mit praktischerem Sinne zu verwerten.

Es war der Schlosser Newcomen, welcher mit dem Glaser Cowlay und mit Savery selbst in Verbindung trat, um die sogenannte atmosphärische Maschine ins praktische Leben einzuführen. Bereits im Jahre 1705 wurde mit dieser Maschine in den Bergwerken von Cornwallis Wasser gehoben. Genau genommen ist die Maschine Newcomens, wie schon bemerkt, mehr eine atmosphärische als eine eigentliche Dampfmaschine, aber sie bildet dennoch das Band zwischen der ersten Erfindung und der vollkommenen Dampfmaschine, wie letztere aus den Händen des unsterblichen James Watt hervorging.

In Newcomens Maschine (s. Fig. 570) ist der Dampfcylinder C der Hauptteil. Dieser Cylinder ist unten geschlossen, oben aber offen, und es kann sich in ihm ein massiver Kolben P luftdicht auf und ab bewegen, der eine Kolbenstange über sich hat, welche mittels einer Kette an das Ende eines doppelarmigen Wagebalkens i befestigt ist. Derselbe findet seinen Unterstützungspunkt in der Mitte o auf einer Wand oder einem Pfeiler. An dem andern Arme dieses Wagebalkens (Balanciers) hängt, ebenfalls an einer Kette, die Kolbenstange m einer Pumpe, welche das Wasser aus der Tiefe herauf fördert. Die beiden Enden des Wagebalkens sind übrigens in Form von Kreisstücken ausgearbeitet, um dadurch eine stets senkrechte Richtung der beiden Kolbenstangen zu erhalten. Der Boden des Cylinders c hat drei Öffnungen: u, v und w, welche durch Ventilhähne geschlossen werden können. Unter der mittleren Öffnung v ist das Dampfrohr, welches den Dampf aus dem unterhalb des Cylinders stehenden Dampfkessel a unter den Kolben P führt, so daß, wenn das Ventil bei s geöffnet ist, der eintretende Dampf den Kolben und dessen Kolbenstange in dem Cylinder c in die Höhe treibt. Dadurch und durch die Schwere der Pumpenstange m wird die letztere in den Brunnen gesenkt, und das Wasser desselben tritt durch das Ventil über den Pumpenkolben. Hat nun der Dampfkolben seinen höchsten Stand erreicht, ist also der Dampfcylinder vollständig mit Wasserdampf gefüllt, so wird der Hahn t geöffnet, welcher ein Rohr b geschlossen hielt, das mit dem Wasserbehälter d einerseits und dem inneren Raume des Cylinders c anderseits in Verbindung steht. Durch Öffnung des Hahnes tritt dann ein Strom kalten Wassers unter den Kolben P und verdichtet den dort befindlichen Dampf. Das somit gebildete Wasser fließt zugleich mit dem durch t eingetretenen durch das Ventil u ab; unterhalb des Kolbens ist jetzt ein luftleerer Raum, auf die äußere Oberfläche des Kolbens aber drückt die atmosphärische Luft mit ihrem Gewicht von 1 kg auf den Quadratzentimeter. Der Kolben muß sich also in dem Cylinder abwärts bewegen und deshalb die Pumpenstange m und das über den Klappen derselben stehende Wasser nach oben ziehen. Die Kraft, welche die Maschine entwickeln kann, hängt sonach ganz von der Größe des Kolbens, also vom Durchmesser des Cylinders ab. Newcomen übergoß anfänglich seinen Cylinder äußerlich mit Wasser, um den Dampf im Innern zu verdichten. Als es sich aber einmal zutrug, daß die Maschine von selbst ungewöhnlich rasch zu arbeiten anfing, forschte man nach und fand, daß der Kolben undicht geworden war und von dem auf ihm stehenden Wasser etwas ins Innere abfließen ließ. Dieser glückliche Zufall führte dann auf das Einspritzen von Wasser in den Cylinder selbst, eine Methode der **Kondensation**, welche seitdem beibehalten worden ist. An dem Kessel a befindet sich übrigens die schon erwähnte Vorrichtung, das Sicherheitsventil, welches sich öffnet, sobald der Druck des Dampfes im Innern zu stark wird.

Unsre Leser werden aus der obenstehenden Beschreibung ersehen haben, daß die Hähne bei s und t und der in der Röhre u, um das regelmäßige Spiel der Maschine zu bewirken, wechselsweise durch einen Wärter mit der Hand geöffnet und geschlossen werden mußten, was eine große Genauigkeit und Pünktlichkeit erforderte, wenn anders die Maschine einen gleichförmigen Gang haben sollte. So wichtig diese Beschäftigung war, so langweilig war sie zugleich, und es ist nicht zu verwundern, wenn die Arbeiter, welche von der Mauernische aus mit Hilfe des Helbelwerks T diese Arbeit zu verrichten hatten, dieselbe nicht eben angenehm fanden. So ging es auch Humphrey Potter, einem Knaben, der bei einer Maschine in Cornwallis die Hähne drehen mußte. Lebhaft und aufgeweckt, wie er war, hatte er das Bedürfnis, sich von der ihm auferlegten geisttötenden, mechanischen Beschäftigung zu befreien; er sann auf Abhilfe. Bald gelang es ihm, durch einige Stricke, welche er an dem Wagebalken der Maschine und an den verschiedenen Hähnen anbrachte, und die man nachgehends durch Zugstangen ersetzte, eine Einrichtung herzustellen, mittels derer die

Maschine selbst mit der größten Genauigkeit die verschiedenen Hähne zu rechter Zeit öffnete und schloß. Diese Erfindung eines Knaben, die selbstthätige Steuerung der Maschine, war von einer unberechenbaren Wichtigkeit, indem sie die Maschine von der oft sehr unzuverlässigen Aufmerksamkeit der Aufseher unabhängig machte, mit einem Worte, sie erst als Maschine darstellte, während sie bis dahin nur ein Gerät gewesen war.

Nach der Verbesserung, welche von Humphrey Potter 1718 durch Hinzufügung der Steuerung an der Dampfmaschine bewirkt worden war, wurde dieselbe noch in England durch Desaguiliers, der das schon von Papin (1705) vorgeschlagene Sicherheitsventil anbrachte, durch Fitzgerald, welcher (1758) mittels Zahnrädern und Sperrwerken die schwingende Bewegung des Balanciers auf eine Welle mit Schwungrad übertrug, durch Brindley, der eine selbstthätige Kesselspeisung einführte, weiterhin aber auch in Deutschland durch Fischer von Erlach weiter ausgebildet. Allerdings litt die Maschine an zwei großen Mängeln; sie ließ infolge der wiederholten Abkühlung des Cylinders durch das Einspritzwasser allzuviel Wärme verloren gehen und sie blieb in der Anwendung hauptsächlich auf Pumpwerke beschränkt, konnte also noch nicht als Motor überhaupt für die verschiedenartigsten Zwecke benutzt werden. Anderweitige Vorteile der Maschine haben sie aber für den beschränkten Kreis ihrer Thätigkeit noch lange, in Deutschland an manchen Orten noch bis zum Jahre 1836, in Gebrauch erhalten. Eine vollständige Umwandlung aber fand durch James Watt statt, welcher die bisher noch immer ziemlich unzulängliche und unbehilfliche Maschine im höchsten Grade vervollkommnete.

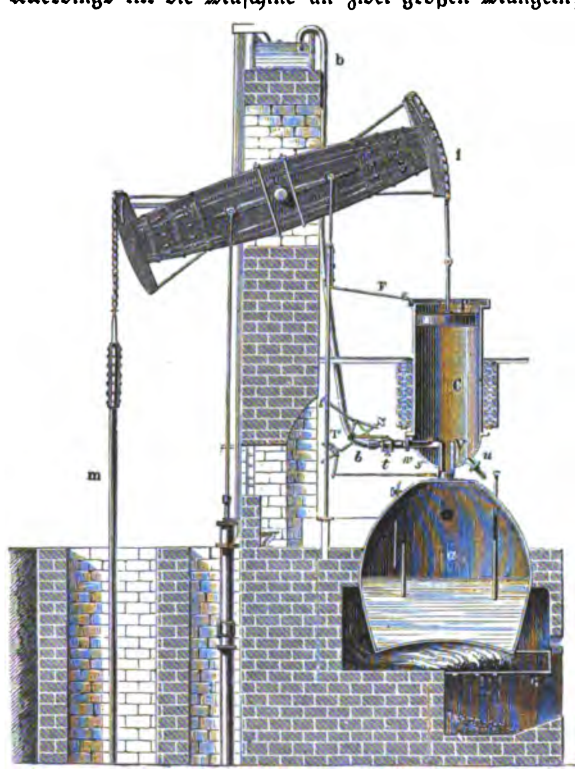


Fig. 570. Newcomens Dampfmaschine.

James Watt, 1736 zu Greenock in Schottland geboren, war von seiner frühsten Jugend an durch seine Natur auf das Gebiet des Denkens und Grübelns gewiesen. Es wird erzählt, daß er sich schon in seinem sechsten Jahre mit den Aufgaben Euklids beschäftigt habe, und daß er sein Spielzeug nicht wie andre Kinder dazu benutzte, um mit der Aufstellung desselben seine Augen zu ergötzen, sondern um es mit Hilfe einer kleinen Werkzeugsammlung, die ihm sein Vater geschenkt hatte, zu zerlegen und aufs neue zusammenzusetzen, auch nach den gemachten Beobachtungen neues anzufertigen. Ja, es gelang ihm sogar, eine kleine Elektrisiermaschine zu bauen, mit welcher er die damals bekannten Versuche über Elektrizität wiederholte und seine Altersgenossen wunderbar überraschte. Watt erscheint nicht als eines jener Wunderkinder, welche alles Begegnende mit großer Begier sich anzueignen wissen, ohne daß es ihnen in Fleisch und Blut übergeht, welche die äußere Form beherrschen, ohne daß der zu Grunde liegende Gedanke sie weiter erregte. Er suchte überall nach dem Grunde der Erscheinung, und dieses stille Nachdenken, das unablässige Forschen brachte ihn häufig in den Verdacht, ein geistig träger Mensch zu sein. Es durchblitzten ihn auch nicht großartige Ideen, aber was er ansah, das zerlegte sich ihm in seine Bestandteile und zeigte ihm gleichergestalt Ursprung und Folge.

Nachdem er während mehrerer Jahre bei einem kleinen Mechaniker seiner Vaterstadt in der Lehre gewesen, trat er in seinem 19. Jahre bei dem Mechaniker Morgan in London ein.

Er brauchte zur Reise dahin zwölf Tage und ahnte damals schwerlich, daß man sie dereinst kraft seiner Erfindung in zwölf Stunden werde zurücklegen können. In London blieb er nur ein Jahr, worauf er nach Glasgow zurückging und später (1756) als Mechaniker bei der Universität zur Ausbesserung der physikalischen Instrumente beschäftigt wurde. Um jene Zeit glänzte in Glasgow der berühmte Staatsökonom Adam Smith; derselbe fand Wohlgefallen an Watt und besuchte ihn fast täglich. Mehrere Freunde Smiths wurden auf den jungen, fleißigen Mechaniker aufmerksam, und bald wurde Watts Wohnung der Versammlungsort von Gelehrten und Studenten. Ein Zeitgenosse, der mit Watt in sehr innige Verbindung trat, erzählt: „Ich wurde — ein Freund mathematischer und mechanischer Studien — durch einige Bekannte bei Watt eingeführt. Ich erwartete einen einfachen Arbeiter und fand anscheinend auch einen solchen; wie sehr aber sah ich mich überrascht, als ich bei näherer Prüfung in ihm einen Gelehrten erkannte, der, nicht älter als ich, dennoch im stande war, mich über alle Gegenstände der Mechanik und Naturkunde aufzuklären, nach denen ich ihn fragte. Ich glaubte in meinem Studium weit vorgeschritten zu sein und fand nun, daß Watt hoch über mir stand. So auch meine Genossen. Jede Schwierigkeit, welche uns vorkam, trugen wir Watt vor, und er war immer im stande, uns zu belehren, aber für ihn wurde jede solche Frage der Gegenstand eines neuen und ernsten Studiums, und er ruhte nicht eher, als bis er sich entweder von der Unbedeutsamkeit des Gegenstandes überzeugt, oder das daraus gemacht hatte, was sich daraus machen ließ. Diese Eigenschaften, verbunden mit der größten Bescheidenheit und Herzensgüte, machten, daß alle seine Bekannten ihm mit der herzlichsten Liebe und Anhänglichkeit zugethan waren.“

Wie es scheint, begann Watt in den Jahren 1762 und 1763, wo er mehrere Versuche mit dem Papinschen Topfe machte, mit dem Wesen und der Verwendbarkeit des Dampfes sich anhaltender zu beschäftigen; aber erst das folgende Jahr war dazu bestimmt, ihn auf die Bahn seines Ruhmes zu führen. In der Sammlung der Universität befand sich das Modell einer Dampfmaschine von Newcomen, dessen man sich zur Erläuterung bei den Vorlesungen bediente. Dies Modell war außer Gang gekommen, oder richtiger, es war nie im Gange gewesen, und man trug Watt auf, dasselbe in Ordnung zu bringen. Er löste seine Aufgabe zu vollkommener Zufriedenheit; sein Fleiß blieb aber nicht hierbei stehen. Im Jahre 1764 verließ er seine Stellung an der Universität, um als Zivilingenieur zu arbeiten und um mit mehr Muße seine Lieblingsideen zu verfolgen. Sein Scharfblick hatte dann bald erkannt, worin die Mangelhaftigkeit der Wirkung von Newcomens Maschine ihren Grund hatte. Die Maschine verlangte, wie wir wissen, Wasser von sehr niedriger Temperatur, um unter dem Kolben den Dampf zu verdichten und einen möglichst leeren Raum herzustellen. Dadurch aber, daß das kalte Wasser in den Cylinder eingespritzt wurde, ergab sich für den nächsten Kolbenhub der Übelstand, daß der Dampf, wenn er mit den soeben durch das Wasser abgekühlten Seitenwänden und der Kolbenfläche in Berührung trat, abgekühlt und bereits kondensiert wurde, ehe er noch seine Wirkung geäußert hatte, was einen beträchtlichen Kraftverlust nach sich zog.

Diese Erkenntnis führte unsern Watt zu der Anlage eines besonderen Niederschlagungsapparates außerhalb des Cylinders, des Kondensators, in welchen die Dämpfe, nachdem sie in dem Cylinder ihren Effekt geäußert, abgeführt und verdichtet wurden. Mit dieser schon 1765 ersonnenen Erfindung kam er um die Mitte des Jahres 1769 zustande. Das Patent, welches er in diesem Jahre erhielt, bezog sich auf eine einfachwirkende Dampfmaschine, bei welcher ein abgesonderter Kondensator mit Einspritzung, eine Luftpumpe und ein verbesserter Dampfkolben angebracht waren. In demselben Jahre nahm er noch ein Patent auf einen geschlossenen Cylinder mit Selbststeuerung. Dadurch, daß Watt den Dampf besser benutzte, erzielte er eine so große Ersparnis an Brennmaterial, daß man jetzt mit einem Zentner Kohlen so weit reichte als früher mit vier Zentnern. Eine zweite bedeutende Verbesserung führte Watt ein, indem er den Kolben des Dampfcylinders nicht mehr durch die atmosphärische Luft, sondern ebenfalls durch den Dampf niedertreiben ließ. Dies bewirkte er, indem er den Dampf abwechselnd unter und über dem Kolben eintreten ließ und den luftleeren Raum, dessen er bedurfte, durch die von ihm erfundene Kondensationsweise erzeugte. Seit drei Jahren hatte Watt diese Erfindung vollendet, ehe es ihm gelang, dieselbe in einem so großen Maßstabe auszuführen, daß die Praktiker sich von deren Nutzen überzeugen konnten. Erst nachdem Watt mit dem Dr. Roebuck eine Verbindung eingegangen war, infolge deren der letztere stets

zwei Dritteile des reinen Gewinns erhalten sollte, wurden dem Erfinder die Mittel gegeben, eine große Versuchsmaschine zu bauen, deren Resultat vollkommen genügend war.

Die Verbindung mit Roebuck dauerte indessen nicht lange, denn schon nach wenigen Jahren zeigten sich dessen Verhältnisse auf das höchste zerrüttet. Eine schwere Prüfungszeit begann wieder für den mittellosen Watt, bis er endlich 1773 sich mit Matthias Boulton in Soho nahe bei Birmingham vereinigte, in dessen höchst ausgedehntem industriellen Etablissement er sowohl die technischen Kräfte als die Geldmittel fand, deren er zur Ausführung seiner Pläne bedurfte.

In der That gehörte auch die Anlage zu Soho bereits in jener Zeit zu den bedeutendsten Anstalten, ohne daß man jedoch die jetzigen Etablissements mit den damaligen in Vergleich setzen dürfte. Die großartige Maschinenfabrik, welche erst aus der Verbindung mit Watt resultierte, wurde für lange Zeit die Mutter fast aller Dampfmaschinen, die in England, Amerika und dem größten Teile von Europa verwendet wurden, und bis heute hat jene Anstalt ihren hohen Ruf sich erhalten.



Fig. 571. James Watt.

Mit dem Besitzer dieser Werkstätten also vereinigte sich Watt zu gemeinschaftlicher Verfolgung seines Patents, welches ihm noch auf die Dauer von 17 Jahren verlängert wurde. Der Erfinder aber widmete sich jetzt ganz und ausschließlich der Vervollkommnung seiner Maschinen in allen ihren einzelnen Teilen.

Da die bisher gebauten Dampfmaschinen hauptsächlich zum Heben des Wassers in den Bergwerken benutzt wurden, so hatte man, wie schon oben erwähnt, den Pumpenkolben unmittelbar an den Wagebalken, dem Dampfkolben gegenüber, gehängt. Dabei aber fehlte es nicht an Unregelmäßigkeiten und Unsicherheiten in deren Gange, und Watt war gleich anfangs bemüht, diesem Übel abzuhelfen und die Ungleichheiten, welche namentlich bei dem Wechsel des Auf- und Niederganges der Kolbenstangen stattfanden, zu beseitigen. Es gelang ihm dies auch vollkommen, indem er die geradlinige Bewegung des Kolbens in eine kreisförmige umsetzte und von der Maschiue ein sehr schweres eisernes Rad, das Schwungrad, umtreiben ließ, welches, wenn es einmal in Bewegung gesetzt war, nach dem mechanischen Gesetze des Beharrungsvermögens diese Bewegung eine längere Zeit behielt, wenn auch die bewegende Kraft aufhörte. Dadurch wurden die Zwischenpausen, wo die Maschine von einer Bewegung in eine andre übergeht, also eigentlich nicht arbeitet (die toten Punkte), ausgefüllt und der Gang der Maschine, vorher oft durch höchst verderbliche Stöße unterbrochen, durchaus gleichmäßig und ruhig. An die Welle des Schwungrades wurden nun zugleich diejenigen Teile gelegt, welche die Kraft der Maschiue den einzelnen Verwendungsarten zuführen sollten.

Die Quelle andrer Unzuträglichkeiten lag in den bisherigen Maschinen darin, daß man nicht im stande war, das Feuer stets gleichmäßig stark zu unterhalten. Die Dampferzeugung und mithin der Dampfzufluß konnten dabei ebenfalls nicht immer gleichmäßig bleiben, und die Maschine arbeitete bei verschieden starker Dampferzeugung auch mit verschiedener Schnelligkeit. Watt suchte dem Übel dadurch abzuhelfen, daß er eine stellbare Klappe (Drosselklappe) in der Röhre anbrachte, welche den Dampf vom Kessel zur Maschine führte, und dieselbe

durch einen besonderen Arbeiter stets nach der Zuflußmenge stellen ließ. Sehr bald zeigte es sich aber, daß die geringste Unaufmerksamkeit dieses Arbeiters die ganze Maschine gefährden könne, und es kam darauf an, auch diese Arbeit durch die Maschine selbst regulieren zu lassen. Der Erfinder befestigte also an der Handhabe der Drosselklappe einen Zughebel, den er mit dem ebenfalls von ihm erfundenen *Regulator* oder *Moderator* verband, und zwar dergestalt, daß, wenn die Maschine zu schnell ging, also zu viel Dampf zufloß, der Regulator die Drosselklappe, soviel als nötig war, schloß, sie aber wieder öffnete, sobald der Dampfzufluß zu gering wurde. Wir haben S. 94 bei Besprechung der Zentrifugalkraft gesehen, auf welchem Prinzip die Wirkungsweise dieses Regulators beruht.

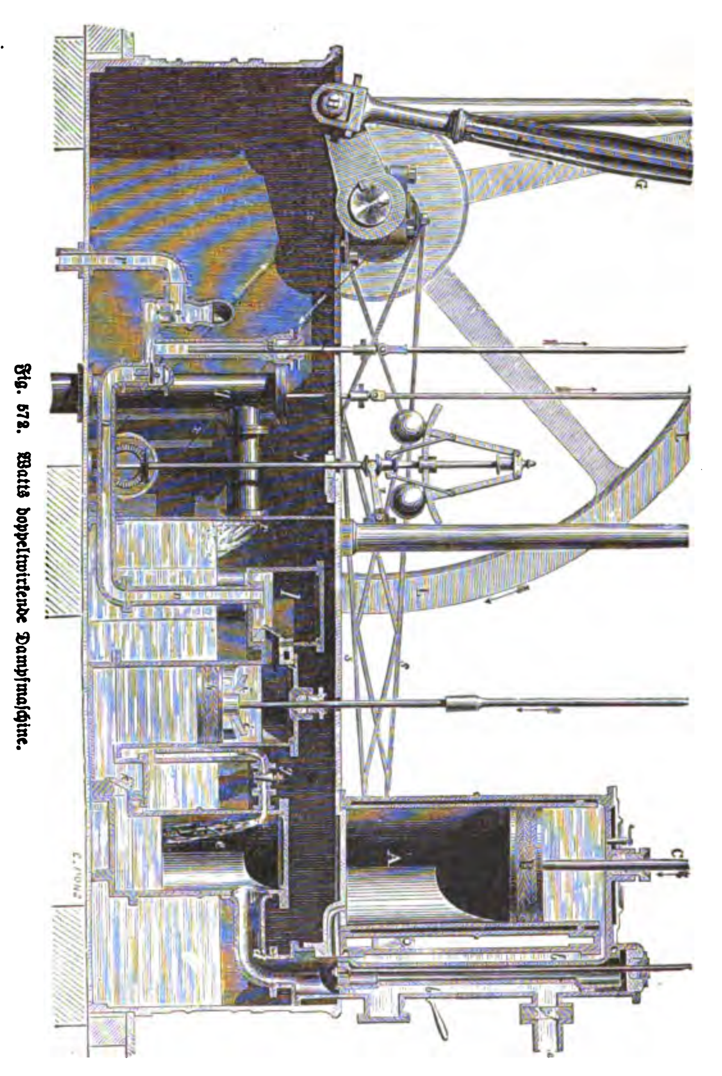


Fig. 572. Watts doppeltwirkende Dampfmaschine.

Bei seinen ersten Verbesserungen hatte Watt immer noch die Newcomensche atmosphärische Dampfmaschine vor sich. Derartige Maschinen konnten nun zwar wohl zum Betriebe eines Pumpwerks geeignet sein, nicht aber zu der regelmäßigen Leistung, welche die Technik wesentlich umgestalten sollte. Diesen Triumph feierte Watt mit der Erfindung der *doppeltwirkenden Dampfmaschine*, deren erste Idee, wie wir schon erwähnt haben, aus dem Jahre 1774 stammt, in der Form, wie sie die Fig. 572 darstellt, aber erst dem Jahre 1782 angehört. Sie muß als eine in ihrer Art zweckmäßige und schöne, als eine Mustermaschine angesehen werden. Bevor wir sie beschreiben, mag darauf hingewiesen werden, daß bei Ausführung der beiderseitigen Dampfwirkung der Cylinder nun auch auf beiden Seiten geschlossen sein mußte, während man bisher dem Spiele des Kolbens von oben zusehen konnte. Da aber der Kolben doch mit den Außenteilen in Verbindung steht, so hat der obere Deckel des Cylinders ein rundes Loch, durch welches die Kolbenstange so genau passend hindurchgehen muß, daß daneben kein Dampf entweichen kann. Um diese Dichtung herzustellen, dient eine im Cylinderdeckel eingelegte und fest zusammengeschraubte dicke Lage von geöltem Werg oder Hanf, durch welche die Kolbenstange, ohne mit dem Metall des Cylinders selbst in Berührung zu kommen, hindurchgeht, wobei, da die Stange sehr glatt ist, nur eine ganz geringe Reibung stattfindet. Eine solche Einrichtung wird eine *Stopfbüchse* genannt.

Aus dem Dampfkessel K (Fig. 573) dringt der Dampf durch das Rohr DD in den Raum S, um von hier durch die auf- und abgehende Schiebervorrichtung, welche wir, wie alle Hauptteile der Dampfmaschine, später gesondert betrachten, bald über, bald unter den Kolben C geleitet zu werden. Die erste Richtung des Dampfes treibt den Kolben herab, die zweite hebt ihn wieder; darin besteht das leichtverständliche Kolbenspiel, der belebende Herzschlag der Maschine, die ihren Gang selbst reguliert, sich selbst mit Wasser versorgt und den verbrauchten Dampf durch Verdichtung beseitigt. Wir bemerken zunächst im Dampfrohr D bei K die Drosselklappe, welche je nach Bedarf mehr oder weniger Dampf zur Maschine treten läßt, und zwar wird die Stellung mittels des rechts über der Hauptwelle ersichtlichen Kugelregulators besorgt, dessen Steigen bei zu großer Geschwindigkeit durch ein Hebelwerk h f g a b c die Klappe mehr schließt, dessen Fallen bei langsamer werdendem Gange sie wieder um einen entsprechenden Teil öffnet. Auf der Hauptwelle sitzt das sogenannte Exzentrik E, dessen Gestänge jenseit der Maschine bis unter den Schieberkasten hinläuft und mittels eines Winkelhebels das Auf- und Abgehen des Schiebers betreibt.

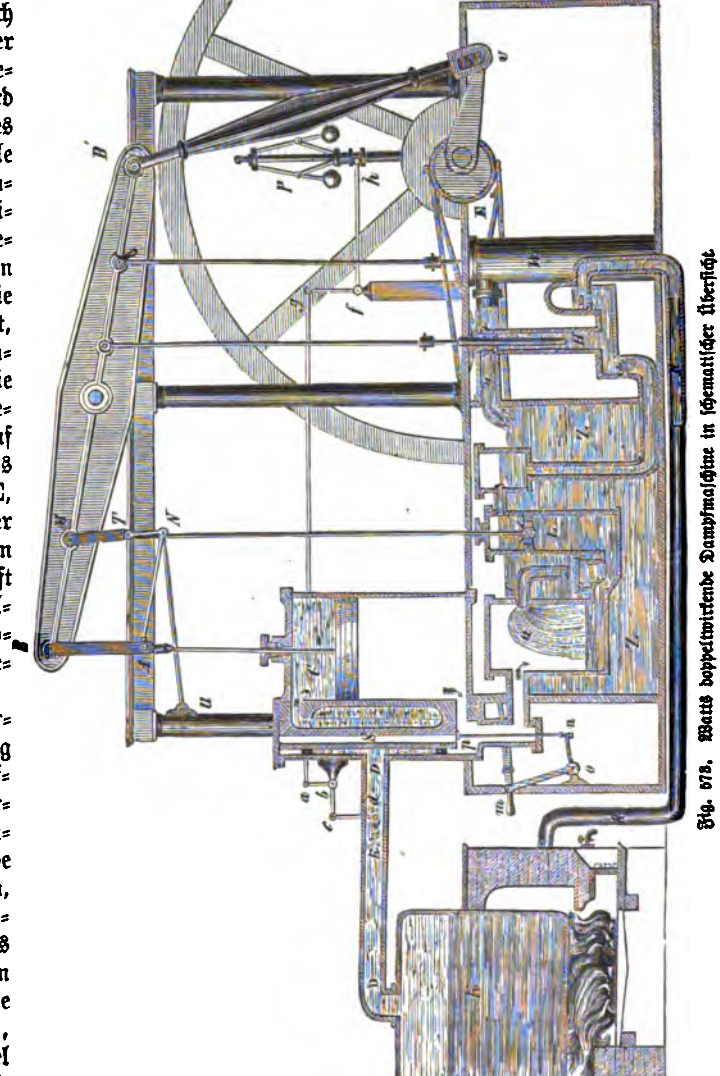


Fig. 573. Watts doppeltwirkende Dampfmaschine in schematischer Übersicht.

Die im Cylinder erzeugte Kolbenbewegung geht vermöge der dampfdicht durch den Cylinderdeckel geführten Kolbenstange auf das eine Ende des oberhalb liegenden, wie ein Wagebalken beweglichen Balanciers BB' über; am andern Ende hängt die Lenkstange v, die Bleuelstange, welche unten die Kurbel der Hauptwelle faßt und so bei jedem vollen Kolbenschub (Auf- und Niedergang) die Hauptwelle mit ihrem Schwungrad einmal herumbringt. Von der Hauptwelle aus wird die so erzeugte Arbeitskraft durch Laufriemen oder in andrer Weise dahin geleitet, wo sie verwendet werden soll.

Die im Unterteil der Maschine befindlichen Einrichtungen sind zur Kondensation, d. h. zur Zuwassermachung des gebrauchten Dampfes, vorhanden. Die Räume ZZ heißen die Zisterne und stehen voll Wasser, das durch die sogenannte Kaltwasserpumpe W von außen beständig neu herbeigeschafft wird. In dem Kondensator Q wird der vom Cylinder kommende Dampf niedergeschlagen, sowie er Strahl um Strahl hier eindringt. Der Kondensator

ist nicht nur von kaltem Wasser umgeben, sondern es strömt solches auch durch eine Brause in ihn ein, und zwar unter einem gewissen Drucke, weil das äußere Wasser höher steht. Das heiße Kondensatorwasser wird von der benachbarten Pumpe L beständig herausgezogen. Diese Pumpe heißt die Luftpumpe, denn sie hat auch die Luft mit fortzuschaffen, die in jedem Wasser enthalten ist und beim Erhitzen heraustritt. Das von der Luftpumpe geförderte warme Wasser tritt in einen Kasten, aus welchem es fortfließen kann, soweit es nicht von der mittleren kleinen Druckpumpe H, die nun Heißwasser- oder Speisepumpe heißt, herausgezogen und in den Kessel als warmes Speisewasser gedrückt wird. Den Weg, den dieses Wasser zu nehmen hat, können wir im Bilde bis zum Kessel verfolgen; wir bemerken dabei auch, daß die Leitung mit einem kleinen Windkessel versehen ist, der das stoßweise Fließen des Wassers in ein mehr stetiges zu verwandeln bestimmt ist.

Links an der Maschine in der Nähe des Kessels sehen wir das an einem Handgriff ausgehende Ende der vom Exzentrik kommenden Schub- und Zugstange, und erkennen leicht, wie durch den Winkelhebel mon die aufrechte Schieberstange p eine auf- und niedergehende Bewegung erhält. Soll die Maschine aus der Ruhe in Gang gesetzt werden, so wird der Winkelhebel und der Dampfschieber zuerst in einen Zug an dem Handgriffe m in Gang gesetzt, worauf die Maschine zu laufen anfängt und die weitere Steuerung selbst besorgt.

Noch eine Einzelheit verdient Erwähnung: der sogenannte Wattische Lenker, eine gleichfalls von Watt erfundene interessante Vorrichtung zur Geradführung der Kolbenstange. Da die letztere durch eine engschließende Stopfbüchse geht, also nicht hin und her schleudern darf und doch mit dem Balancier, dessen Enden natürlich Kreisbogen beschreiben, in Zusammenhang stehen muß, so galt es, eine Vermittelung zwischen der geraden und krummlinigen Bewegung zu finden, eine Aufgabe, welche Watt (1784) in schöner Weise durch eine Verbindung von Hebeln löste, welche wir der größeren Deutlichkeit wegen mit Hilfe einer besonderen Abbildung (s. Fig. 574) erklären wollen.

Fig. 574. Der Wattische Lenker.

Es seien CB und OD zwei Arme oder Hebel, die sich um Zapfen bei C und O drehen. Sie werden, wenn sie durch die Kolbenstange QM auf und nieder bewegt werden, die punktierten Bogen in der Luft beschreiben. Das Mittelstück BD, welches sie gelenkartig verbindet, wird die Auf- und Niederbewegung nicht hindern, indem es vermöge seiner Beweglichkeit sich immer den gegenseitigen Stellungen der beiden Hebel anbequemen kann. Hebt sich nämlich der rechte Hebel bis nach B', so ist der linke bis D' gekommen und das Verbindungsstück ist dabei in die Lage übergegangen, wie es der schwarze Strich B' D' zeigt. Dasselbe findet beim Niedergange statt, wo das Mittelstück in die Lage B'' D'' kommt. Die Mitte M des Verbindungsstückes bewegt sich dabei immer in einer und derselben senkrechten Linie oder doch sehr wenig davon abweichend. Für die Kolbenstange ist somit die gesuchte Geradführung gefunden. Man hat sich unter CB die Hälfte des Balanciers, unter OD einen Hebel vorzustellen, dessen Zapfen O an irgend einem Punkte des Maschinengestelles festsitzt; und nach diesem Schema wird die Wirkung des Wattschen Parallelogramms verständlich sein, obwohl dasselbe einige Stücke mehr hat als der eigentliche Wattische Lenker.

Es hängen nämlich an dem Balancier der Dampfmaschine zwei solcher Stücke wie M und sind unten durch ein drittes querlaufendes gelenkig verbunden. Hierdurch entsteht die Form eines Parallelogramms, welche der Vorrichtung den Namen gegeben hat, die sich nach den wechselnden Stellungen des Balanciers und des Gegenarmes immerfort verschiebt und an welcher nächst der Hauptkolbenstange gewöhnlich auch die Luftpumpe angehangen ist. Es gewährt einen eigentümlich fesselnden Anblick, dem Spiele des Parallelogramms zuzusehen, und selbst der Laie wird den Eindruck der Verkörperung einer geistreichen Idee empfinden.

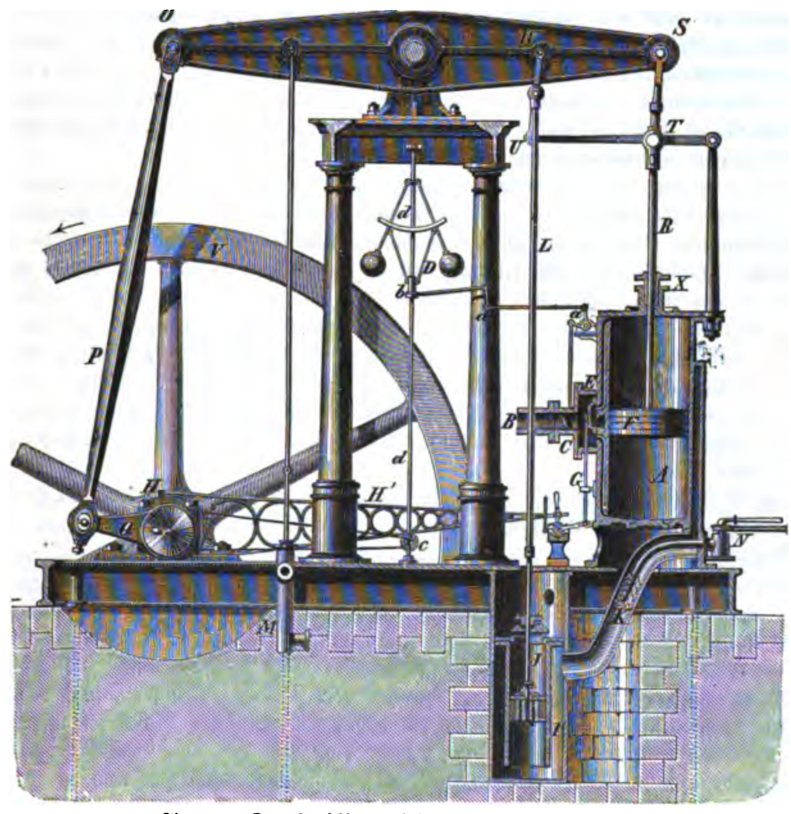


Fig. 575. Dampfmaschine nach Watt, neuerer Konstruktion.

A Dampfcylinder. F Kolben. X Stopfbüchse. R Kolbenstange. STUW Parallelogramm. SO Balancier. P Bleuelstange. Q Kurbelzapfen. V Schwungrad. H Exzentrik. H' Exzentrikstange. G Schiebersteuerung. B Dampfrohr aus dem Kessel. C Drosselklappe. E Ventilkasten, Dampfbüchse. D Kugelregulator. a a Regulatorhebel. b Verschiebbare Hülse. I Kondensator. J Luftpumpe. K Kaltwasserbrause. N Saugrohr. M Speisepumpe.

Eine unerläßliche Bedingung bei der Dampfmaschine ist selbstverständlich der genaue Anschluß des Kolbens an die Cylinderwandungen. Bei der Niederdruckmaschine geschieht diese Dichtung oder Packung dadurch, daß man dem Kolben eine feste Umwickelung von Hanfzöpfen gibt; bei den viel heißer arbeitenden Hochdruckmaschinen dagegen wendet man die Metallliderung an, bei welcher Metall auf Metall geht, und der Kolben besteht, soweit er die Cylinderwand berührt, aus einer Anzahl einzelner Stücke, welche zusammengelegt wie ein einziger Ring aussehen und durch dahinter gelegte Federn beständig nach auswärts an die Cylinderwand angedrängt werden. Daß Cylinderwand und Kolbenring möglichst genau aufeinander abgeschliffen sein müssen, ist selbstredend.

Durch alle diese Verbesserungen wurde die Dampfmaschine endlich ein Werkzeug, das selbst bei der stärksten Kraftwirkung den geregelten Gang einer Uhr einhalten konnte. Nicht nur mächtig, d. h. mechanisch wirkungsvoll, hatte Watt die Dampfmaschine gemacht, er hatte den jungen Riesen auch bereits gebändigt und auf den leisesten Wink erzogen. Sofort

griffen die Maschinen denn auch kräftig in die Arbeitsverhältnisse ein, und unter ihrer Mitwirkung entwickelte sich das Fabrikwesen auf das rascheste und in vordem ungeahnter Weise.

Mit dem Ablaufe des Watt-Boultonschen Patentes, im Jahre 1800, trat Watt aus dieser Verbindung aus und lebte auf seinem Landhause Heathfield bei Birmingham seinen Studien und seiner Erholung, bis er am 25. August 1819 in einem Alter von 83 Jahren zur ewigen Ruhe einging. Er hat während seines Lebens zwar auch seine Leidensperiode gehabt, die selten einem Erfinder erspart bleibt, dagegen aber das Glück, die großartigen Erfolge seiner Erfindung noch mit eignen Augen zu schauen.

Gegenüber dem nicht minder genialen Papin, der seines schwankenden und weichen Charakters wegen nirgends festen Boden gewann und sein eigentliches Ziel verfehlte, hat es Watt vornehmlich der klaren und entschiedenen Denkweise, womit er in ruhiger Besonnenheit seine Bestrebungen verfolgte, zu danken, daß er sich eine dauernd feste Lebensstellung errang, welche es ihm ermöglichte, mit voller Sammlung und Sicherheit ebenso der Wissenschaft wie seinem besonderen Fache zu leben.

Watt verdiente bei dem reichen Schatze seiner vielseitigen Kenntnisse nicht nur das Prädikat eines tiefen Gelehrten, sondern er war auch einer der liebenswürdigsten, gemütreichsten Menschen. Die besten Männer suchten seinen bildenden und erhebenden Umgang, das englische Volk aber ehrte ihn dadurch, daß es seine von Chatrey gearbeitete marmorne Bildsäule in der Westminsterabtei zu London, der Ruhmeshalle Englands, aufstellen ließ und diese Ehre mit den Worten begründete, daß James Watt ein Mann gewesen, welcher die Kraft eines schöpferischen, in wissenschaftlichen Forschungen früh geübten Geistes auf die Verbesserung der Dampfmaschine wendete, hierdurch die Hilfsquellen seines Landes erweiterte und die Kraft des Menschen überhaupt vermehrte, sich somit zu einem hervorragenden Platze unter den berühmtesten Männern der Wissenschaft und den wahren Wohlthätern der Menschheit emporhob.

Nach Watts Zeit haben die Dampfmaschinen noch so vielfache einzelne Verbesserungen erfahren, daß wir nur das Wichtigere davon in weiteren Betracht ziehen können.

Vergleichen wir aber mit der alten Wattschen Dampfmaschine (Fig. 573) eine neuere Konstruktion, wie sie uns etwa Fig. 575 zeigt, so werden wir zwar manches eleganter angeordnet, manches auch einfacher ausgeführt, aber kaum eine wesentliche neue Erfindung an dieser Art Maschinen angebracht sehen; doch haben die Grundprinzipien Erweiterung erfahren.

Man fand, daß der Dampf, unter größerem Druck erzeugt, auch eine größere Expansionskraft annehme, die, mit dem auf ihm lastenden Drucke zunehmend, auch bedeutendere Wirkungen hervorbringen könne. Bei den bis dahin gebräuchlichen Maschinen wirkte der bei einer Temperatur von 100° C. erzeugte Dampf auch nur mit dem Gewichte von 1033 g auf den Quadratzentimeter der Kolbenfläche, und wenn auch wohl hier und da etwas mehr erreicht wurde, so war man doch immer genötigt, da, wo man großer Effekte bedurfte, entweder sehr große Kolbenflächen, also auch sehr weite Cylinder oder mehrere Dampfmaschinen nebeneinander anzuwenden. Durch größere Belastung der Sicherheitsventile an dem Kessel konnte aber, je nachdem die Ventile auf den Quadratzentimeter mit 2, 3, 6, 8 u. s. w. kg belastet waren, Dampf von 2, 3, 6, 8 u. s. w. Atmosphären erzeugt werden. Dieser Dampf wirkte also auch mit demselben hohen Drucke auf den Kolben der Maschine, und so entstanden die Hochdruckdampfmaschinen, welche mit Kolben von verhältnismäßig geringem Durchmesser sehr große Kraftwirkungen gestatten. Nach der Größe des Dampfdruckes nennt man sie Maschinen von 2, 3, 6, 8 u. s. w. Atmosphären. Die Hochdruckmaschine erfand Trevithick 1802, eingeführt wurde sie sehr bald darauf, besonders durch Humphry Edwards, in Amerika. Arthur Woolf benutzte die Thatsache, daß der Hochdruckdampf mit einmaliger Wirkung noch nicht ausgenutzt sei, sondern sich auch dann noch ausdehnen und, statt vorher mit z. B. 3—4 Atmosphären, immer noch mit 1—2 Atmosphären Kraft wirken könne. Er stellte daher neben den kleinen Cylinder der Hochdruckmaschine einen großen Niederdruckcylinder und leitete den abgenutzten Dampf von unterhalb des Kolbens des Hochdruckcylinders über den Kolben des Niederdruckcylinders und umgekehrt, wo jener seine volle Expansion ausübte und einen zweiten Effekt lieferte, ehe er in den Kondensator geführt wurde. Die Idee übrigens, den Dampf succesive auf zwei Kolben

wirken zu lassen, ist nicht von Woolf, sondern stammt von Hornblower, der dieselbe bereits 1792 in die Technik einführen wollte.

Einfacher war es jedoch, wie man sich in neuerer Zeit überzeugte, die Expansion bereits im Cylinder eintreten zu lassen und den Expansionscylinder mit allen seinen Zuthaten zu beseitigen. Dies bewirkt man bei der jetzt sehr gewöhnlichen Expansionsmaschine dadurch, daß man den Zufluß des Dampfes nicht während des ganzen Kolbenhubes stattfinden läßt, sondern schon bei der Hälfte oder beim Drittel u. s. w. absperrt und es dann dem Dampfe anheimgibt, durch seine Expansionskraft den Kolben seinen Lauf vollenden zu lassen, worauf der schon expandierte Dampf in den Kondensator geleitet wird. Dies sind die beständigen Expansionsmaschinen. Da aber in Fabriken auch Fälle eintreten, wo nicht alle Arbeitsbedürfnisse zugleich befriedigt werden, man also bisweilen weniger Kraft braucht, so erfand man die Maschine mit veränderlicher Expansion, in welcher die Absperrung des Dampfes nach Befinden augenblicklich bei jedem Bruchteile des Kolbenlaufs stattfinden kann und man demnach die Größe des Dampfverbrauchs stets in seiner Gewalt hat, daher auch an Brennmaterial spart. In neuester Zeit läßt man die Maschine selbst die Stellung der Expansion, je nach der von ihr erlangten Kraft, verändern, so daß in dem Augenblicke, wo z. B. in einer Spinnerei eine Spinnmaschine ausgerückt wird, auch weniger Dampf verwendet wird, sobald aber die Maschine wieder einrückt, der Dampfzufluß zunimmt.

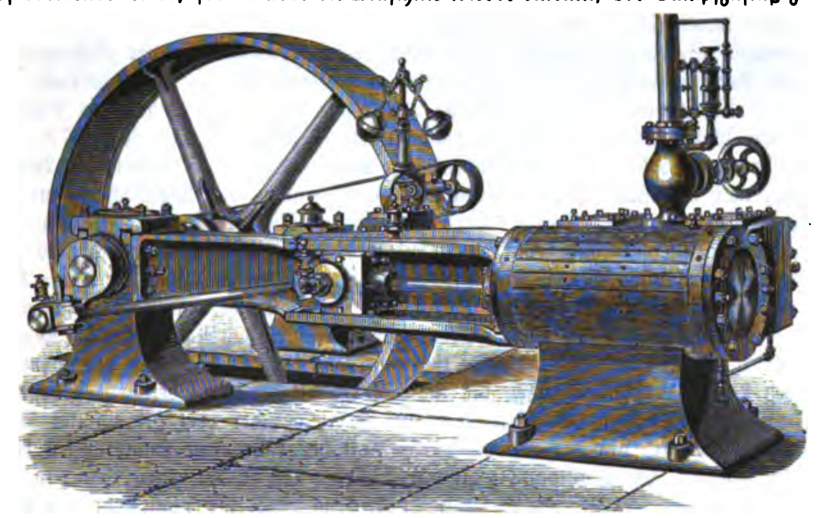


Fig. 576. Liegende Dampfmaschine.

Der Bau der Hochdruckmaschine ist demnach, wo alles in Wegfall gekommen ist, was zur Verdichtung des Dampfes in einem besonderen Gefäße und zur Zuführung des hierzu nötigen kalten Wassers dient, noch einfacher, als wir ihn vorher kennen gelernt haben. Eine solche Vereinfachung wurde besonders bei der Lokomotive nötig, die unmöglich noch Kondensationswasser mit sich führen konnte. Bei stehenden Maschinen dagegen kommt es auf die Umstände an, ob der Kondensator angewandt werden soll oder nicht, und bauliche Rücksichten können häufig zwingen, auf den Vorteil der Wiedergewinnung der im Dampfe steckenden latenten Wärme zu verzichten und besondere Maschinenkonstruktionen vorzuziehen, wie z. B. deren eine uns Fig. 576 vorführt.

Da bei den Hochdruckmaschinen der Dampf bei seinem Austritt die Luft verdrängen muß und dazu eine Atmosphäre Kraft braucht, so folgt daraus, daß eine Maschine, die mit 4 Atmosphären Spannung arbeitet, nur eine Kraft von 3 Atmosphären entwickeln kann, während, wo ein Kondensator zulässig ist, auch diese letzte Atmosphäre großenteils noch nutzbar wird, indem hier der Widerstand der äußeren Luft für den austretenden Dampf als kein besonders zu überwindendes Hindernis auftritt.

Systeme. Wenn wir die unter dem Namen Dampfmaschinen aufgeführten Apparate klassifizieren wollen, so haben wir zunächst die Maschinen ohne Kolben auszuscheiden.

Die letzteren, zu denen die ältesten Erfindungen auf diesem Gebiete zählen, haben für die Praxis wenig Bedeutung erlangt. Erst die Einführung des Kolbens kennzeichnet den Punkt, von welchem an wir die eigentliche Epoche der Dampfmaschine zu datieren haben.

Die Kolbenmaschinen sind zweierlei Art: die ältesten, atmosphärischen Maschinen (Papin, Newcomen und Watt) und die späteren Dampfmaschinen, vor allem die doppeltwirkenden, bei welchen der Dampf den Kolben nach beiden Richtungen treibt.

Alle Maschinen, welche mit Dämpfen von mehr als atmosphärischer Spannung arbeiten, heißen Hochdruckmaschinen; sie brauchen keinen Kondensator, da das Entweichen des Dampfes durch den geringeren Druck der atmosphärischen Luft nicht wesentlich gehindert wird. Niederdruckmaschinen sind alle die, bei welchen Dämpfe von geringerer als atmosphärischer Spannung arbeiten können, weil auf die andre Seite des Kolbens nicht die atmosphärische Luft mit ihrem Drucke lastet, sondern vielmehr ein möglichst luftleerer Raum daselbst hergestellt wird, indem man die Dämpfe zu Wasser kondensiert.

Die doppeltwirkenden Dampfmaschinen können mit Kondensation arbeiten oder ohne Kondensation, ebenso mit oder ohne Expansion, woraus sich vier Gruppen ergeben:

a) mit Kondensation ohne Expansion,
b) mit Kondensation mit Expansion,
c) ohne Kondensation und ohne Expansion,
d) ohne Kondensation mit Expansion,

ohne diejenigen Spielarten, welche sonst noch durch Weglassung oder Anbringung des Balanciers, durch feststehenden oder oszillierenden Cylinder u. s. w. hervorgebracht werden.

Zu den Maschinen mit Kondensation, aber ohne Expansion, gehört die Niederdruckmaschine von Watt, überhaupt die erste doppeltwirkende Maschine, vgl. Fig. 573.

Zu Gruppe b, Maschinen mit Kondensation und mit Expansion, gehört die Woolfsche Maschine, nach der man jetzt gewöhnlich das ganze System das Woolfsche nennt.

Die Dampfsteuerung. Der Schieber. Zweier wichtiger Bestandteile der Dampfmaschine, des Parallelogramms und des Regulators, haben wir schon gedacht; es erübrigt aber noch die Betrachtung der andern Hilfsmechanismen, die zum Teil im Laufe der Zeit sehr wesentliche Umänderungen erlitten haben. Vor allen Dingen mußte die Zu- und Ableitung des Dampfes in den Cylinder der Niederdruckmaschine das Nachdenken der Maschinenbauer beschäftigen. In den ersten Zeiten ließ man Ventile, klappen- und hahnförmige, besonders den Vierweghahn, arbeiten, bis man endlich allgemein zu den jetzt gebräuchlichen Schiebventilen überging. Ein solches Ventil ist ein gerader oder gekrümmter Riegel G (s. Fig. 578), der sich vor den beiden in den Cylinder führenden Dampfwegen H und I hin und her schiebt. Die Abbildung zeigt den Schieber erst in der einen, dann in der andern Stellung (s. Fig. 579). Durch jeden Vorbeigang wird, wie man sieht, ein Weg geöffnet, der andre geschlossen und hierdurch der Wechsel auf die einfachste Weise hergestellt. Der Schieber wird durch eine Stange EF dirigiert, die dampfdicht in den Dampfraum geführt ist und außen von der Maschine selbst ihre Hin- und Herbewegung erhält. Diese Vorrichtung heißt die Steuerung und der hart neben dem Cylinder liegende Hohlraum AB, in welchem der Schieber sein Spiel treibt, die Dampfbüchse oder der Schieberkasten. Der frische Dampf tritt durch das Rohr S aus dem Kessel in den Schieberkasten, der verbrauchte verläßt den Cylinder durch T. Die zuerst gezeichnete Lage des Schiebers (s. Fig. 578) findet statt, wenn der Kolben im Cylinder seinen Tiefstand hat. Dann sind die Dampfwege I und H offen; durch I tritt neuer Dampf unter den Kolben und hebt ihn, durch H steigt der über ihm befindliche verbrauchte herab nach dem Ausfluß T. In der zweiten Lage (s. Fig. 579) sind alle Richtungen umgekehrt, und der Kolben wird von dem durch H über den Kolben tretenden Dampf wieder niederwärts getrieben. In diesen beiden Endlagen hält der Schieber einen kurzen Moment still. Über die Mittellage aber muß er möglichst rasch hinwegschreiten, denn bliebe er auf halbem Wege stehen, so wären beide Dampfwege samt dem Ausblaserohr zu gleicher Zeit geschlossen und die Bewegung des Kolbens müßte aufhören. Über diesen Punkt hilft aber die Trägheit hinweg. Denkt man sich jedoch den Rücken des Schiebers so weit verlängert, daß die beiden Schieberplatten um die Breite eines Dampflochs weiter auseinander stehen, so würden nicht bloß zwei, sondern

vier verschiedene Stellungen auf jedem Hin- und Hergange möglich. Die bei den Expansionsmaschinen angewendeten Schieber unterscheiden sich von den gewöhnlichen, von uns abgebildeten, in vielen Fällen nur durch eine mit der Kürze der Zeit — während welcher der Dampf frei unter den Kolben treten soll — wachsende Weite der beiden Schieberplatten.

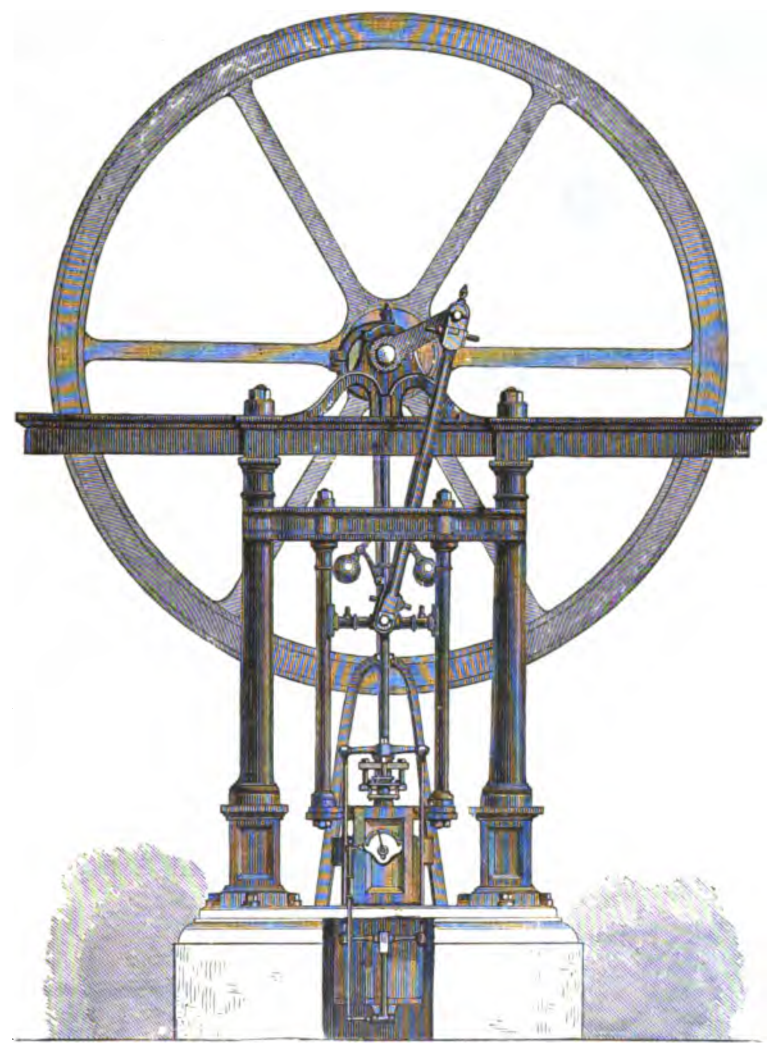


Fig. 577. Hochdruckmaschine mit stehendem Dampfcylinder.

Exzentrik. Die Steuerung wird also, wie man sieht, durch den Hin- und Hergang der Stange F (s. Fig. 578) bewirkt, und die Bewegung dieser letzteren geschieht meistens von der Welle des Schwungrades aus vermittelst des sogenannten Exzentriks, von welchem wir in Fig. 580 eine Ansicht geben. Das Exzentrik, die Erfindung von Murdoch, besteht aus einer runden Scheibe E, die auf der Welle A so aufgesteckt ist, daß die Mittellinie der letzteren nicht gerade durch die Mitte der Scheibe, sondern in einiger Entfernung daneben vorbeigeht. Demnach steht auf der einen Seite der Welle ein breiteres Stück der Scheibe heraus als auf der entgegengesetzten. Die Scheibe wird von einem Ringe K umfaßt, der an dem Zuggestänge festsitzt und durch dieses mittels eines Winkelhebels den Schieber in der Dampfbüchse in Bewegung setzt.

Indem nämlich die exzentrische Scheibe in dem Innern des Ringes gleitet, drückt sie mit ihrer breiten Seite beständig auf einen andern Punkt seines Umfanges und führt ihn somit in einem Kreise herum. Das Zuggestänge muß sich daher ganz in derselben Art bewegen, als würde es von einer Kurbel getrieben, deren Arm so lang wäre, wie der größte Abstand des Scheibenrandes von der Welle. Wie man leicht sieht, bewirkt ein Auf- und Niedergang des Kolbens eine einmalige Umdrehung des Schwungrades und diese wieder mittels des Exzentriks einen Hin- und Hergang des Schiebers. Diese drei Bewegungen bedingen einander gegenseitig und erfolgen demnach immer zu gleicher Zeit.

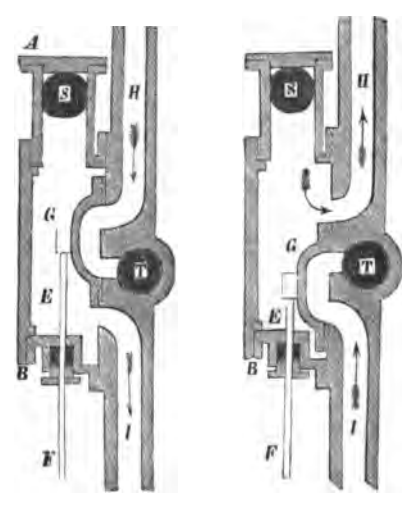


Fig. 578. Fig. 579.
Theorie des Schieberventils.

Haben wir uns die Wirkungsweise des Exzentriks in seiner einfachsten Form klar gemacht, so werden wir es leicht begreiflich finden, daß man der Scheibe auch andre Formen geben kann, und daß sich dadurch im Verlaufe eines Umgangs verschiedene Beschleunigungen, Verzögerungen und Stillstände des Schiebers erzeugen ließen, wenn dieselben erwünscht wären. Die Kreisform führt in der That den Übelstand herbei, daß die Schieber sich zu langsam schließen und in der Zwischenzeit demnach Kraft verloren geht. Macht man aber, wie es oft geschieht, das Exzentrik dreieckig mit gekrümmten Seiten und läßt es sich in einer viereckigen Umfassung drehen, so wird der Schieber rascher zugestoßen und es tritt zwischen jedem Hin- und Hergang ein kurzer Stillstand ein. Soll die Maschine mit Expansion arbeiten, so hat man die Form des Exzentriks danach einzurichten, denn von dieser hängt, wie man sieht, die Art und Weise ab, wie der Schieber seinen Weg macht, und von dieser wieder die frühere oder spätere Dampfabsperrung. Die sog. unrunde Scheibe (s. Fig. 581) dreht sich zwischen zwei an dem Gestänge sitzenden Friktionsrollen und hat eine unregelmäßig wellenförmige Form, die sich nach den verschiedenen Absperrungsarten verschiedentlich abwandelt und vermöge deren es dem Schieber bei jedem Umgange vier von kurzen Stillständen unterbrochene Rückungen erteilt, zwei in der einen und zwei in der andern Richtung. Die erste Rückung von einem Endpunkte aus schneidet den Dampf ab, während sie den jenseitigen Abzugskanal noch offen läßt; die zweite vollendet den Wechsel und läßt den Dampf von der andern Seite zutreten u. s. w.

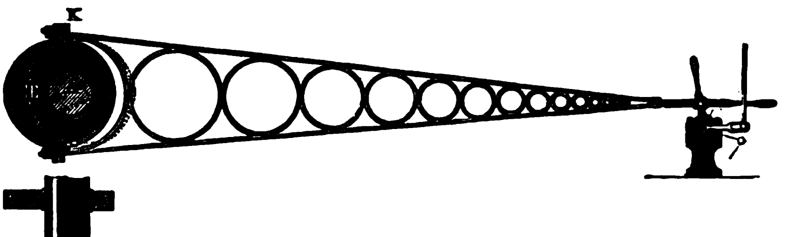


Fig. 580. Exzentrik mit Gestänge.

Die krückenförmigen Schieber erleiden eine der Dampfspannung im Schieberkasten entsprechende Anpressung an ihre Gleitbahn, was einen Kraftverlust verursacht. Dieser Übelstand ist beseitigt bei den sogenannten entlasteten Schiebern, welche hohl und eine Art zweifächerige Kasten sind, durch welche der Dampf dergestalt ein- und austritt, daß der Schieber einen zweiseitigen Druck vom ein- und austretenden Dampfe erhält, daher ein Druck auf die Gleitbahn nicht stattfindet.

Komplizierter, aber ebenfalls viel in Anwendung, sind solche Steuerungen, wo zwei Schieber miteinander arbeiten, deren jeder seine eigne, von der des andern verschiedene

Bewegung hat. Der eine, der **Verteilungsschieber**, besorgt dann nur das Einlassen von Dampf oben und unten, während der andre, der **Expansionsschieber**, den Zufluß zu dem ersten reguliert und periodisch ganz absperrt. Andre Einrichtungen bezwecken ferner, die Dampfabsperrung selbst während des Ganges der Maschine zu verändern, indem durch Drehen eines Hebels mit der Hand, oder auch selbstthätig durch Wirkung des Kugelregulators, z. B. eine im Innern liegende, mit zwei Löchern versehene Schieberplatte so gerückt wird, daß sie die beiden Dampfwege entweder ganz frei läßt oder mehr oder weniger schließt.

Auf die Vervollkommnung der Steuerung beziehen sich fast alle Erfindungen, welche in der letzten Zeit zu gunsten der Dampfmaschine gemacht worden sind. Sie sind oft sehr scharfsinnig ausgedacht, wie dies die **Corliß-Steuerung** beweist, welche, in Amerika erfunden, während der letzten zwei Jahrzehnte überall in Aufnahme gekommen ist.

Statt der Schieber findet sich zuweilen an der Wattschen Maschine die sogenannte **Kolbensteuerung** angewendet, welche ganz so verteilend wirkt wie ein einfacher Schieber. Den Schieberkasten vertritt ein rundes Rohr, in welchem die Steuerung eine Stange auf und nieder treibt, an der in gewisser Entfernung zwei dampfdichte Kolben sitzen, die sich vor den beiden zum und vom Cylinder führenden Dampfwegen vorbeischieben. Der Abstand der beiden Kolben beträgt aber gerade soviel als der der beiden Dampflöcher. Ist die Stange nach oben geschoben, so stehen beide Kolben über den Löchern und der Dampf kann oben ein-, unten austreten; durch das Niedergehen der Kolben werden die Verhältnisse umgekehrt. Ähnlich ist die Einrichtung des Pistons bei den Messinginstrumenten (s. Fig. 540).

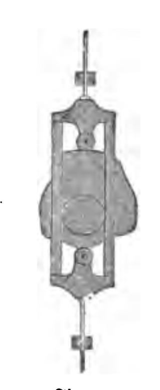


Fig. 582. Expansions-Exzentrik.

Der **Balancier** ist, wie man am Dampfwagen und an der Maschine mit horizontalem Cylinder sieht, kein unbedingt nötiges Stück an der Dampfmaschine; man kann die Kolbenstange auch direkt auf den Krummzapfen oder das Schwungrad wirken lassen. Da aber der Teil der Stange, welcher im Cylinder geht, nur einen geradlinigen Weg machen kann, während das andre Ende zugleich den Kurbelkreis mit durchlaufen muß, so folgt daraus, daß die Stange hier aus zwei Stücken zu bestehen hat, die durch ein Gelenk miteinander verbunden sind (s. Fig. 576). Ohne diese Einrichtung wäre offenbar keine Bewegungsübertragung möglich, es müßte denn sein, daß der Dampfcylinder selbst so weit nachgäbe, als die Seitenabweichung der Stange, wenn sie nur aus einem Stück bestände, austrägt. Dieses Prinzip ist nun auch in Anwendung gekommen, und zwar in den sogenannten schwingenden (oszillierenden) Maschinen, welche sich wegen ihres wenig Raum einnehmenden Baues besonders für Dampfschiffe eignen. Hierbei hängt der aufrecht stehende Cylinder A (s. Fig. 581) in seiner Mitte in zwei starken Zapfen, durch welche zugleich die Dampfwege hindurchgehen, und indem er der einfachen Kolbenstange die auf- und niedergehende Bewegung erteilt, empfängt er von dieser selbst eine hin und her wiegende, wie sie aus den Stellungen des Krummzapfens sich ergibt. Es ist sonach die Aufgabe, welche Watt mit seinem Parallelogramm löste, hier noch in einer andern Weise gelöst, als in der in Fig. 576 abgebildeten Form.

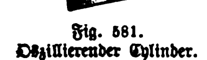


Fig. 581. Oszillierender Cylinder.

Der Dampfkessel ist ein ganz wesentlicher Teil der Dampfmaschine. Er besitzt gewöhnlich eine verlängerte cylindrische Form, die an beiden Enden halbkugelig abgerundet ist. Um die Heizfläche zu vergrößern, sind häufig noch zwei bis drei sogenannte Siederöhren mit dem Hauptkörper verbunden, das sind Cylinder von kleinerem Durchmesser, welche im Feuerraum nebeneinander unterhalb des Kessels liegen und in diesen durch aufrechte kurze Röhrenstücke münden, oder aber der Feuerkanal ist in den inneren Raum des Cylinders gelegt; er bildet dann bisweilen auch nicht bloß eine einzige Röhre, sondern ein

ganzes Röhrensystem, und bei Lokomotiven steigt die Zahl dieser inneren Sieberöhren bis auf 150. Wie man hier den Feuerraum in den Kessel hineinführt, so hat man anderseits wieder eine Kesseleinrichtung angewandt, welche schon im vorigen Jahrhundert (1793) von Barlow versucht worden ist und welche den Kesselraum in nach unten geschlossene Röhren ausgehen läßt, die mit Wasser gefüllt in den Kesselraum hinabreichen, hier aber von der Flamme umspielt die Hitze durch das emporsteigende Wasser rasch dem Kesselinhalte mitteilen. Durch die lebhafte Zirkulation, welche somit in der Flüssigkeit unterhalten wird, vermindert sich die Gefahr der Absetzung einer festen Schicht von Kesselstein.

Übrigens ist es selbstverständlich, daß verschiedene Zwecke und Vorbedingungen auch ganz verschiedene Kesselanlagen bedingen müssen, da in manchen Fällen die Raumersparnis (bei Schiffsdampfmaschinen), in andern die Brennstoffersparnis (bei stehenden Dampfmaschinen) mitunter auch die Rücksicht auf möglichste Vermeidung des Kohlenrauchs durch passende Vorrichtungen zur Rauchverzehrung u. dgl. mehr vorwiegen kann.

Eine der gewöhnlichsten Anordnungen der Dampfkesselanlage, wie sie für Hochdruckmaschinen ausgeführt wird, führen wir unsern Lesern in den Figuren 583 und 485 vor, von denen die erste eine Längenansicht, die zweite einen Querdurchschnitt gibt. In beiden ist A der Hauptkessel, BB sind die mit demselben durch die cylindrischen Röhrenstücke CC verbundenen Sieberöhren; ein Gewölbe D scheidet den Feuerraum und zwingt die von E aus stechende Flamme, in der Richtung der Pfeile den Kessel zu umspielen. F sind gußeiserne Auflagerungen für die Sieberöhren. M ist ein durch Gegengewichte stellbarer Schieber für die Regulierung des Zuges. Von den Bestandteilen des Kessels selbst ist a das nach dem Schieberkasten führende Dampfrohr, b das Speiserohr, c das Sicherheitsventil, d das Manometer, e die Schwimmervorrichtung, g die Dampfpfeife, ein zweites Sicherheitsventil, und f das sogenannte Mannloch, eine 25—30 cm im Geviert haltende, dicht verschließbare Öffnung, durch welche ein Arbeiter in das Innere eines Kessels steigen kann, um diesen zu reinigen oder zu reparieren. Zur Kesselarmatur gehört dann auch noch die Vorrichtung zur Wasserzuleitung oder die Speisevorrichtung. Anstatt der früher gebräuchlichen Pumpe, die durch ein Exzentrik von der Maschine selbst getrieben wurde, werden neuerdings vielfach die sogenannten Injektoren zu diesem Zwecke angewandt.

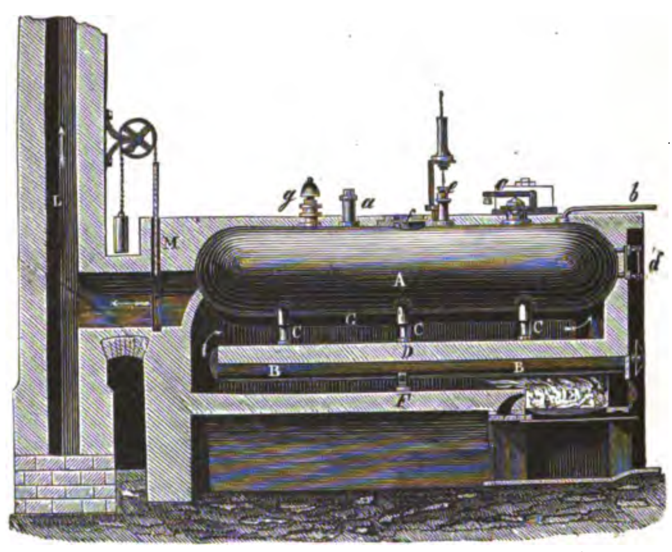


Fig. 583. Dampfkesselanlage für Hochdruckmaschine. Seitenansicht.

Dieselben beruhen auf dem schon zur Konstruktion der Quecksilberluftpumpe angewendeten Prinzipe, daß ein aus einer engen Öffnung (Düse) mit Gewalt ausströmender Strahl die umgebende Luft mit sich fortreißt, und wenn der Zufluß neuer Luft von unten und von der Seite her gehindert ist, die Ausströmungsöffnung also von einem nach unten geschlossenen Gefäße umgeben wird, in diesem einen luftverdünnten Raum hervorbringt. Wird das äußere Gefäß an seinem unteren Ende durch Wasser abgeschlossen, so steigt dieses infolge des atmosphärischen Druckes darin in die Höhe und es wird nach oben zu herausgeschleudert, wenn dieser atmosphärische Überdruck genügt, um die Wassersäule bis über die Ausströmungsöffnung der Düse zu heben.

Bei den Dampfinjektoren zur Speisung des Kessels mischt sich solcher Art der ausströmende Dampf mit dem nachströmenden Wasser, er kondensiert sich, und dieses Gemisch wird in Form eines Strahles in den Kesselraum gedrückt.

Der erste, welcher die schon früher von dem Marquis Mannowy d'Ectot (1818) angeregte Idee zu praktisch brauchbarer Ausführung brachte, war der französische Ingenieur Giffard (1858), derselbe, der durch seinen Ballon captif bei der letzten Pariser Ausstellung die Aufmerksamkeit erregte.

Dieser Giffardsche Injektor ist in Fig. 584 im Durchschnitt dargestellt. Das Rohr A leitet bei geöffnetem Hahne H den Dampf aus dem Kesselraume durch Löcher in die Röhre BC, welche in die konische Düse C ausgeht. Letztere mündet in die Kammer D, welche durch ein Steigrohr mit dem Wasserreservoir in Verbindung steht und in ein konisches Rohr E ausgeht, durch welches das durch das Steigrohr angesaugte sowie das aus dem Dampf kondensierte Wasser herausgepreßt wird. Der aus E hervorströmende Wasserstrahl wird aufgefangen von dem gegenstehenden Mundstück G und gelangt durch die Röhre K nach L und von da in den Kessel. Was nicht von der Düse G aufgefangen wird, sammelt sich in R und fließt durch das Abflußrohr S ab. M ist eine Reguliervorrichtung, welche durch Verengerung der Düse wirkt; sie wird in dem Körtingschen Universal-Patent-Injektor selbstthätig ausgeführt.

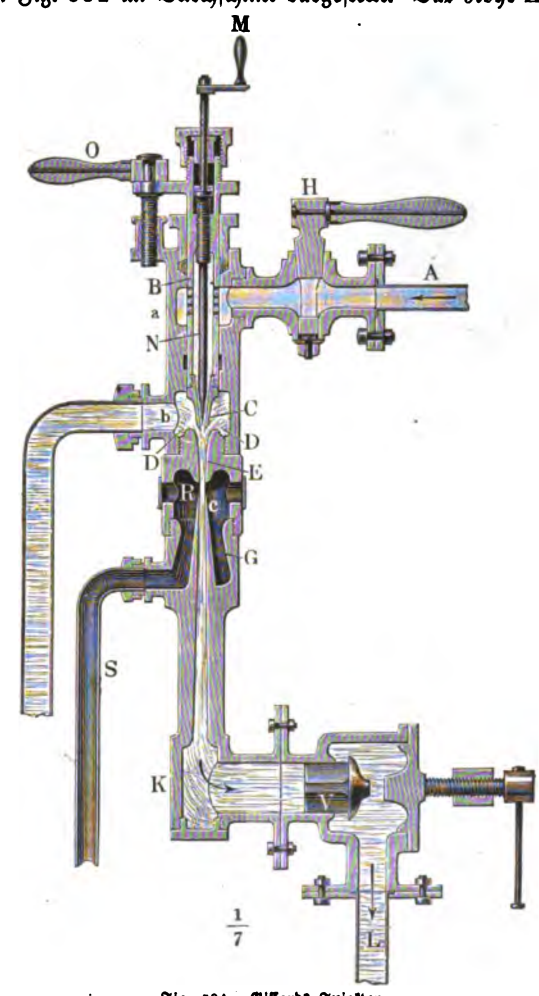


Fig. 584. Giffards Injektor.

Der Schwimmer besteht am einfachsten aus einem auf dem Kesselwasser schwimmenden Holzklotz, von dem aus durch die obere Kesselwand ein metallener Stab geht; ein über eine Rolle geschlungenes Kettchen trägt ein Gegengewicht oder einen Zeiger, der an einer Skala den Wasserstand angibt; wo es auf genaue Ermittelung desselben nicht ankommt, kann man sich auch mit zwei übereinander angebrachten Probierhähnen begnügen. Die Manometer haben wir bereits früher (S. 108 ff.) besprochen.

Dagegen dürfte das Sicherheitsventil, jener für die Umgebung von Dampfkesseln so bedeutsame Apparat, eine kurze Erwähnung mit Recht beanspruchen. Man hat sehr verschiedene Mittel angewandt, um, wenn ja einmal die Spannung des Dampfes im Innern des Kessels jene Höhe erreichen sollte, für welche die Wände nur ungenügenden Widerstand zu leisten vermögen, alle Gefahren einer Explosion zu beseitigen und dem Dampfe sich selbst einen Ausgang verschaffen zu lassen. Namentlich ist man zu wiederholten Malen darauf zurückgekommen, in die obere Kesselwand Platten von eigentümlichen Metalllegierungen einsetzen zu lassen, deren Schmelzpunkt man genau in der Weise regulieren konnte, daß sie eher zusammenschmelzen, als der Dampf die eisernen Kesselplatten zerdrücken kann. Indessen

haben sich doch diese Vorrichtungen in Wirklichkeit nicht so zweckmäßig erwiesen, als es scheinen möchte; vielmehr bleibt das einfache Kegelventil, welches mit einem entsprechenden Gewicht von außen belastet und dadurch in eine genau anschließende Öffnung gepreßt wird, das sicherste. Man hat es hier nämlich ganz in seiner Gewalt, jeden Augenblick durch Veränderung des Hebelarmes, an welchem das Gewicht wirkt, den Druck desselben den Umständen gemäß modifizieren zu können, und man wendet es daher auch jetzt fast ausschließlich an. Gerade die leichte Veränderbarkeit seines Widerstandes hat zwar mancherlei Bedenken erregt, die darin ihre Stütze suchen, daß der für das Leben andrer so wichtige Apparat, einer leichtsinnigen Behandlung preisgegeben, seinem Zwecke ganz und gar verloren gehen kann. Allein verwirft man das Messer, weil damit schon Menschen getötet worden sind? Übrigens beseitigt kein Sicherheitsventil alle Gefahren, welche möglicherweise bei einem Dampfkessel eintreten können. Kesselexplosionen entstehen namentlich durch das Bersten der sich aus den mineralischen Rückständen des verdampfenden Wassers absetzenden Schicht, des Kesselsteines, wodurch dann der unterhalb glühende Kesselboden mit dem zutretenden Wasser in Berührung kommt und die Dampfentwickelung eine so plötzliche und ungeheure wird, daß die Kesselwände den Druck nicht auszuhalten vermögen — sie treten ein trotz des Sicherheitsventils, und nur die ängstlichste Vorsicht, die gewissenhafteste Beobachtung aller Umstände und die rechtzeitige Ergreifung von Gegenmaßregeln kann sie vermeiden. Um die Widerstandskraft zu vergrößern, wird jetzt anstatt Schmiedeeisen häufig Stahl zu der Kesselwand verarbeitet. Allein das beste Material kann nicht die Sorgfalt ersetzen, welche verhütend auf das Eintreten widriger Umstände wirkt.

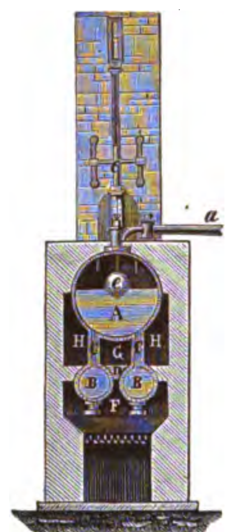


Fig. 585. Dampfkesselanlage für Hochdruckmaschinen. Querdurchschnitt.

Wir versagen es uns ungern, an dieser Stelle die wichtigsten Formen zu besprechen, in denen die Dampfmaschine praktische Verwendung findet. Die Lokomotive und die Lokomobile werden wir im nächsten Kapitel zu betrachten Gelegenheit finden.

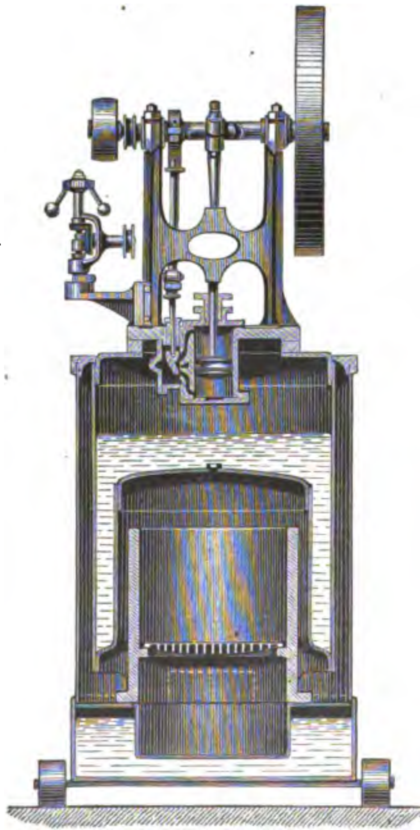


Fig. 586. Kleine Kesseldampfmaschine.

Die Konkurrenten der Dampfmaschine.

Der gewaltige Umschwung, den die Benutzung des Dampfes und seine Expansivkraft als Motor in allen Branchen des Lebens hervorgerufen hat, beruht teilweise, wenn wir so sagen dürfen, auf der Konzentration der Kraft, daß auf einmal eine Arbeitsleistung ermöglicht wurde, die man vordem nur nach und nach in langem Zeitraume vorbereiten konnte und durch welche sich der mechanischen Kraft alle jene Riesenaufgaben, über die wir nicht mehr erstaunen, als lösbar und in ihrer Lösung sogar als Bedingung der Fortentwickelung aufstellten, teilweise aber auch auf der zweckmäßigeren Gewinnung der Kraft, auf der direkten Umsetzung der Wärme in mechanische Bewegung und damit auf der billigeren Krafterzeugung. — Trotzdem daß die besten Dampfmaschinen nur wenig mehr als

20 Prozent der von der verbrennenden Kohle gelieferten Wärme in Arbeitsleistung verwandeln, indem das fehlende Quantum teils mit dem entweichenden Wasserdampfe, teils mit der erhitzten Luft durch den Schornstein, teils geradezu als Wärme durch Ausstrahlung entweicht, also einen sehr geringen Nutzeffekt nur geben, ist derselbe im Verhältnis noch der billigste. Je kleiner aber die Dampfmaschinen ausgeführt werden sollen, um so mehr treten dann die an ihrer Leistung zehrenden Faktoren störend auf; das Anlagekapital verringert sich nicht entsprechend dem geringeren Effekt, gewisse Einrichtungen, Bedingungen rc. bleiben für jede Dampfmaschine, sie mag groß oder klein sein, in gleicher Weise notwendig und verteuern also den Effekt schwächerer Maschinen in unverhältnismäßiger Weise. Außerdem ist die Anlage jeder Dampfmaschine wegen der Feuerungen, vorzüglich aber wegen der möglichen Kesselexplosionen, polizeilich derart beschränkt, daß die in Städten in dichtbevölkerten Häusern arbeitenden Handwerker an eine Benutzung derselben nur selten denken können.

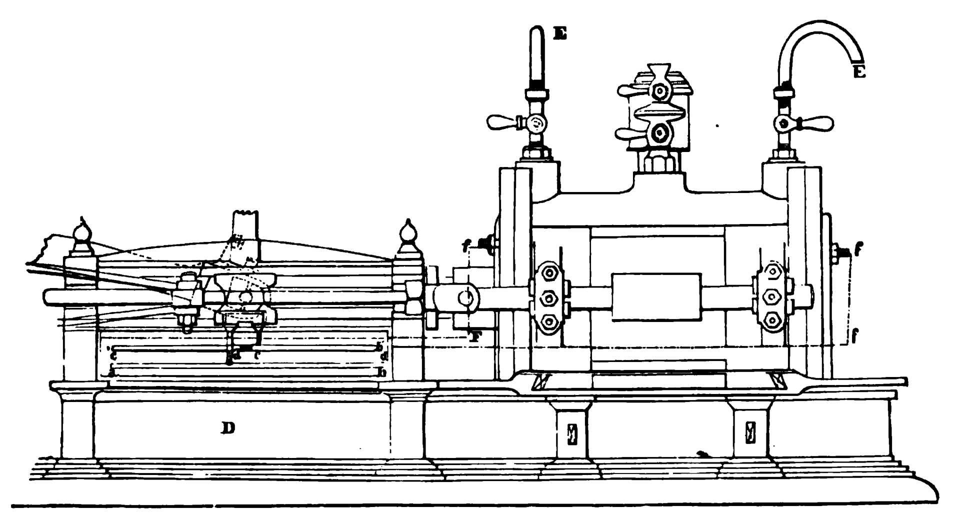


Fig. 587. Lenoirs Gasmaschine. Seitenansicht.

Nun verlangen aber viele Gewerbe eine Kraftmaschine, deren Leistung zunächst nicht über die Arbeitsleistung weniger Menschen hinauszugehen braucht, die aber diesen Effekt billiger als jene hervorbringt, die ferner in ihrer äußeren Form mit einem möglichst geringen Raume sich begnügt, auf keinen Fall aber ausgedehnte Feuerungsanlagen, durch welche ihre Wirksamkeit auf einen nur schwierig zu verändernden Ort gebannt wird, nötig macht, und die endlich ohne lange Vorbereitung rasch in Thätigkeit gesetzt werden kann, ebenso rasch aber auch und ohne Arbeitsverlust ihre Bewegung unterbrechen läßt, wenn dieselbe nicht gebraucht wird. Daß ein möglichst geringes Anlagekapital eigentlich die allererste Bedingung einer allgemeinen Verbreitung derartiger Maschinen ist, versteht sich von selbst.

Man hoffte lange Zeit, in der elektromagnetischen Kraftmaschine einen entsprechenden Motor sich erziehen zu können, allein wie wir früher gesehen haben, konnten sich diese Hoffnungen nicht realisieren. Immer und immer bleibt es die direkte Benutzung der ausdehnenden Wirkung der Wärme, welche die geringsten Verluste im Gefolge hat, und die Dampfmaschine würde unbestritten in erster Reihe geblieben sein, wenn nicht darin der auszudehnende Körper erst erzeugt werden müßte. Die große Wärmemenge aber, welche in dem Dampfe als latente Wärme mit verloren geht, ließ den Gedanken aufkommen, anstatt des Wasserdampfes einen andern gasförmigen Körper durch die Wärme auszudehnen und seine Expansion als Quelle mechanischer Kraft zu benutzen, der sich überall in luftförmigem Zustande vorfindet.

Dieser Gedanke war ein fruchtbarer, und er liegt sowohl der Ericssonschen sogenannten kalorischen wie auch der Lenoirschen Knallgasmaschine zu Grunde. In beiden ist es

die atmosphärische Luft, welche durch die Wärme ausgedehnt und infolge der dadurch erzeugten Spannung die Ursache der Bewegung eines in einem geschlossenen Cylinder verschiebbaren Kolbens wird; beide Maschinen führen also eigentlich falsche Namen. Denn ebenso gut wie die Ericssonsche ist die Lenoirsche, ja jede Dampfmaschine, überhaupt jede Maschine, in welcher Wärme direkt in mechanische Kraft umgesetzt wird, eine kalorische Maschine; ferner ist die Lenoirsche Maschine im Grunde auch keine Knallgasmaschine, denn das Gasgemenge, welches darin verbraunt wird, ist kein reines Knallgas. Beide Maschinen samt ihren zahlreichen Abkömmlingen könnten unter dem Gesamtnamen Heißluftmaschine oder bloß Luftmaschine, welche Bezeichnung man der Ericssonschen zum Unterschiede von der Lenoirschen jetzt gewöhnlich beilegt, verstanden werden.

In der That beruht ihr prinzipieller Unterschied nur in der Anlage der Feuerung; bei der einen wird die Wärme durch Verbrennung von Kohle außerhalb des Cylinders, bei der andern dagegen durch Verbrennung eines brennbaren Gases innerhalb des Cylinders erzeugt. Die Verschiedenheiten in der praktischen Ausführung dagegen sind infolgedessen so bedeutend, daß jede Maschine für sich eine eigne Erfindung nötig machte.

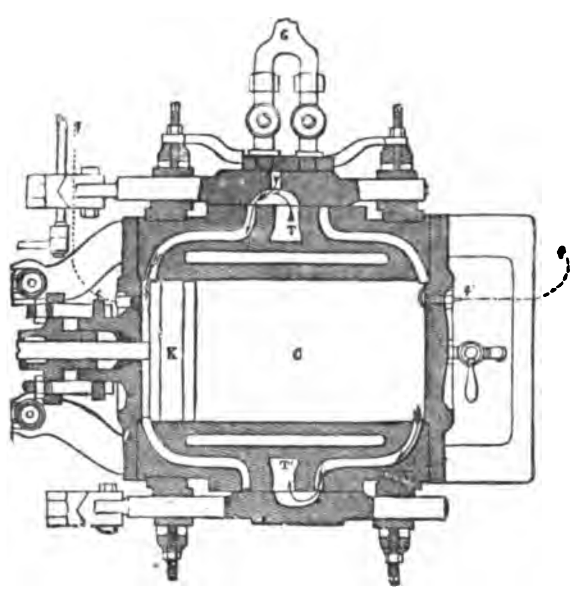


Fig. 588. Lenoirs Gasmaschine. Horizontaldurchschnitt.

Die Gasmaschinen. Wenn man 8 Gewichtsteile Wasserstoff und 1 Gewichtsteil Sauerstoff oder 2 Volumenteile Wasserstoff und 1 Volumenteil Sauerstoff miteinander mischt, so erhält man Knallgas, so genannt von seiner Eigenschaft, bei Annäherung einer Flamme mit einem ungemeinen Knalle zu explodieren.

Die beiden Körper verbinden sich dabei plötzlich und auf einmal unter großer Hitzeentwickelung untereinander, und als Folge dieser Vereinigung entsteht Wasser, welches in dampfartiger Gestalt durch die dabei stattfindende bedeutende Temperaturerhöhung einen bei weitem größeren Raum einnimmt, als die Gase früher inne hatten. Durch die plötzliche Ausdehnung wird ein großer Druck geübt, der, wenn die Entzündung in einem geschlossenen Gefäße stattfindet, dasselbe mit Gewalt zerschmettern kann.

Wie man die Wirkung des Schießpulvers, mit welcher die Explosion des Knallgases am ehesten zu vergleichen ist, für die mechanische Arbeitsgewinnung nutzbar zu machen versucht hat, so kam man bald darauf, Maschinen konstruieren zu wollen, durch welche die bei der Explosion des Knallgases entstehende Kraft nach den Bedürfnissen der Mechanik passend umgesetzt werden sollte. Indessen hatten alle auf diesem Gebiete gemachten Versuche lange Zeit keinen Erfolg, hauptsächlich deshalb, weil man das Knallgas in reinem oder ziemlich reinem Zustande anwendete, in welchem es gar zu rasch verpuffte und durch die Gewaltsamkeit des Eintretens der Kraft die schädlichsten Einflüsse auf die Dauerhaftigkeit der Maschinenteile ausübte.

Es galt daher, zuerst die Wirkung zu verlangsamen, um einen ruhigen Gang des Kolbens zu ermöglichen, also eine Maschine zu erfinden, welche wie die Dampfmaschine mit Expansion ihren Effekt stufenweise ausübte.

Lenoir in Paris gelang es, diesen Anforderungen nahe zu genügen, indem er unter den Kolben nicht allein reines Knallgas leitete, sondern vielmehr ein Gemenge atmosphärischer Luft mit einer gewissen Quantität Leuchtgas. Das Leuchtgas ist Kohlenwasserstoff;

im Verhältnis ungefähr von 3:1 mit Sauerstoff vermischt verpufft es, wie häufige Gasexplosionen gezeigt haben, mit großer Gewalt. Lenoir fand aber, daß für die Maschinenzwecke ein Gemenge von 91—95 Teilen atmosphärischer Luft und nur 5—9 Teilen Leuchtgas die zweckmäßigste Zusammensetzung habe. Unter dem Kolben der Lenoirschen Maschine erfolgt dann nämlich nicht eine Explosion in der Art, wie bei einem Gemenge von Sauerstoff und Wasserstoff, wodurch die Gase erst ungeheuer ausgedehnt, gleich darauf aber durch die eintretende Verdichtung auf einen fast verschwindenden Raum gebracht werden, sondern vielmehr nur eine plötzliche Verbrennung des Leuchtgases in Luft. Die Wärme, die dabei erzeugt wird, dehnt die gebildeten Verbrennungsprodukte: Wasserdampf und Kohlensäure, allerdings auch sehr rasch aus, da sie aber zugleich auf die überschüssig mit zugeführte Luft übergehen muß, so ist ihre Wirkung doch keine so momentane, sie steigert sich vielmehr erst allmählich bis auf den höchsten Effekt, und dabei wird ein bei weitem ruhigerer Gang des Kolbens hervorgerufen.

Lenoir, dem wir diese Verbesserungen des Prinzips verdanken, war ursprünglich Arbeiter (Monteur) in einer Bronzefabrik; später beschäftigte er sich mit der Galvanoplastik und gründete mit einem Herrn Gautier eine galvanoplastische Anstalt unter der Firma Société Générale de Galvanoplastie. Diese Unternehmung konnte jedoch in ihrem materiellen Erfolge keine glückliche genannt werden, ebensowenig ließ ihn die Idee, den Elektromagnetismus als bewegende Kraft nutzbar zu machen, das vorgesteckte Ziel erreichen. Es mußte ihm bald die Kostspieligkeit dieser Kraft als ein unüberwindliches Hindernis sich in den Weg stellen; deshalb versuchte er statt des Elektromagnetismus die Explosivkraft des Knallgases als Motor zu benutzen, und diese Untersuchungen führten ihn endlich nach manchen mißlungenen Versuchen zu der glücklichen Idee der Anwendung eines Gemisches aus Leuchtgas und atmosphärischer Luft. Lenoir vereinigte sich mit dem Pariser Maschinenfabrikanten Hypolite Marinoni, welcher an der praktischen Lösung des Problems ein wesentliches Verdienst mit hat. Im Mai 1860 wurde die erste Lenoirsche Maschine in der Rue Rousselet in der Werkstatt von Levèque aufgestellt.

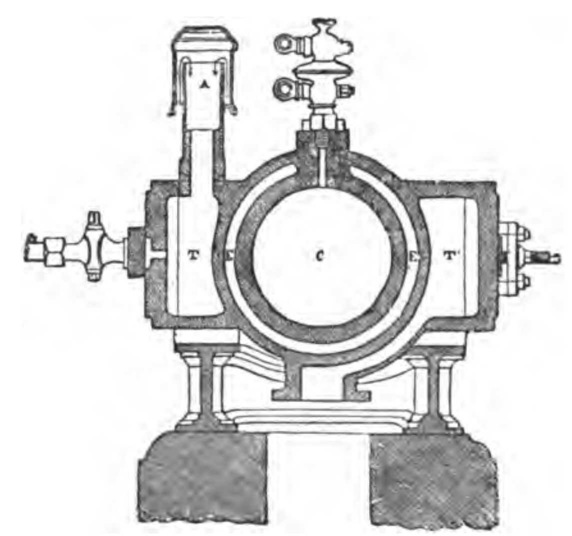


Fig. 589. Lenoirs Gasmaschine. Vertikaldurchschnitt.

Die Erfindung nahm rasch ihren Weg über die ganze zivilisierte Welt. Für Spanien, Brasilien und Havana kaufte ein Herr Jean Poey in Madrid die Erfindung für 100 000 Frank; fast in allen Ländern sind Verbesserungen an der Lenoirschen Maschine patentiert. Ein Beweis, daß dieselbe kein bloßes Spielzeug zur Aufstellung in einem physikalischen Kabinett mehr war, sondern daß in ihr die Befriedigung eines dringenden Bedürfnisses gegeben schien. Wir wollen ihre damalige Einrichtung etwas näher betrachten.

Unsre Zeichnungen stellen in Fig. 587 eine Lenoirsche Maschine in Seitenansicht, in Fig. 588 einen Horizontallängendurchschnitt, in Fig. 589 einen Vertikaldurchschnitt dar, in der Mittellinie zwischen den beiden Zuleitungsröhren G genommen. Schon eine oberflächliche Betrachtung dieser Zeichnungen läßt uns als Hauptbestandteile der Maschine jene Teile wiederfinden, die wir bereits von der Dampfmaschine her kennen. Ein Cylinder, in dessen Innerm sich durch die Wirkung eines expandierenden Körpers ein Kolben bewegt; eine Steuerungsvorrichtung, durch welche die Bewegung des Kolbens umgesetzt wird; der bekannte Kurbelmechanismus endlich verwandelt die geradlinige Bewegung in die rotierende

einer Hauptwelle, und diese setzt ein Schwungrad zur Hervorbringung einer möglichst gleichförmigen Bewegung in Umdrehung. Der horizontal liegende gußeiserne Cylinder ist in der Abbildung Fig. 588 mit C bezeichnet, darin bewegt sich der Kolben K. Derselbe steht durch die Kolbenstange mit der Bleuelstange und durch diese mit der Hauptkurbel in Verbindung, welche die vor- und rückwärts gehende Bewegung auf das in der Zeichnung weggelassene Schwungrad überträgt. Von der Kurbelwelle aus werden durch ein Exzentrik die beiden Schieber bewegt, welche an T und T' vorbeischleifen. Der eine, über T, ist dazu da, die durch den Aufgang des Kolbens eingesaugte atmosphärische Luft und das Leuchtgas zu vermischen und in den Cylinder zu führen, und hat zu diesem Zweck eine ganz besondere Einrichtung, auf die wir später zurückkommen; der andre Schieber, über T', reguliert den Austritt der durch die Verbrennung des Leuchtgases gebildeten Verbrennungsprodukte (Wasserdampf und Kohlensäure) sowie des Restes der an der Verbrennung selbst nicht beteiligt gewesenen Luft, die durch ihre Expansion den Auftrieb des Kolbens hervorrief. Die Erwärmung im Innern des Cylinders ist ziemlich bedeutend; um daher die Wände des Kolbens abzukühlen, umgibt denselben ein Mantel, welcher einen leeren Raum EE (s. Fig. 589) rings um den Cylinder bildet. In diesen fließt das Wasser aus einem höher gelegenen Reservoir, in das die Maschine selbst die Hebung bewerkstelligt, durch das links am Cylinder befindliche Rohr E (s. Fig. 587) ein und durch das rechts sichtbare, gebogene wieder ab, nachdem es dem Cylinder seine Wärme entzogen, und kann nun entweder zur Heizung von Räumlichkeiten oder sonstwie Verwendung finden.

Das Rohr, welches das Leuchtgas einführt, endigt in ein gabelförmiges Stück G. An jedem Zweige desselben hat es einen Hahn, und durch einen Gummischlauch ist es leicht mit jeder gewöhnlichen Gasleitungsröhre in Verbindung gesetzt. Durch den einen der beiden Hähne wird das Gas über, durch den andern unter den Cylinder geführt. Bei der in der Zeichnung (s. Fig. 588) abgebildeten Stellung des Schiebers kommt das Gas aus dem linken Schenkel von G, vereinigt sich in dem hohlen Raume T mit atmosphärischer Luft, welche durch A in Fig. 589 aufgesaugt wird, und tritt durch den Kanal hinter den Kolben. Hat der letztere eine genügende Menge Gas gesogen, so wird das Gasrohr sowohl als das Luftzuleitungsrohr abgesperrt. In demselben Augenblicke muß der elektrische Funke überspringen, damit nicht erst der Kolben unnötige Arbeit durch die Verdünnung des Gemenges verrichte; anderseits aber auch, damit nicht ein Teil des expandierenden Gases noch Zeit und Raum finde, außerhalb des Cylinders zu treten, bevor es seine Kraft an den Kolben abgegeben hat. Der andre, auf uns zu liegende Schieber bleibt inzwischen unbewegt und läßt die von der letzten Explosion her vor dem Kolben noch befindlichen Verbrennungsprodukte ungehindert während des Rückganges des Kolbens durch den vor demselben befindlichen Kanal entweichen. Kurz vor Beendigung des Kolbenlaufes wird aber dieser Schieber umgesteuert, so daß er nun die andern beiden Kanäle miteinander in Kommunikation setzt. Die jetzt noch vor dem Kolben befindlichen und durch das Umsteuern des Schiebers am Austreten verhinderten Verbrennungsprodukte werden vom Kolben komprimiert und wirken so als elektrisches Kissen im Augenblick des Bewegungswechsels. Der andre, über T gleitende Schieber intermittiert in seiner Bewegung, sobald der linke Gaskanal abgeschlossen ist, und nimmt dieselbe erst wieder auf, wenn der vor T' liegende Schieber vollständig umgesteuert ist und der Kolben, einen neuen Lauf beginnend, den toten Punkt verläßt, indem er jetzt den rechts liegenden Gaskanal mit dem entsprechenden Schenkel des Gaszuleitungsrohres in Verbindung setzt.

Der vor der Gaszuleitung G liegende Schieberkasten ist, wie wir schon erwähnten, auf eine eigentümliche Weise eingerichtet, wodurch eine innige Vermengung des Leuchtgases mit der atmosphärischen Luft bezweckt wird. Er hat nämlich nicht bloß eine einzige Durchbohrung, durch welche die Kommunikation mit den Gaszuleitern vermittelt wird, sondern statt deren bewegt sich vor den Gasröhren eine Art rechtwinkeliger, hohlwandiger Messingplatte, welche nach der Richtung der Querachse mit mehreren Reihen kleiner Röhren oder kammartiger Spalten durchzogen ist und durch die das Gas in die nach dem Cylinder führenden Kanäle eintritt. Die atmosphärische Luft wird ebenfalls durch den hohlen Schieberkasten, und zwar mittels Kanälen, eingesogen, die, in der Längsachse des Schieberkastens

liegend, in den beiden Querkanten desselben rechts und links einmünden und in den inneren Raum des Cylinders durch ebensolche kammartige Spalten ausmünden. Die letzteren kommunizieren mit den Gasleitungsröhrchen des Schieberkastens. Der erwähnte Kamm ist in den beiden Deckeln des Schiebers angebracht. Das Gas wird somit in fein zerteilten Strömen durch die Röhrchen, die Luft mittels der die Röhrchen umgebenden Hohlgänge durch die Wände des Cylinders in diesen eingeführt, so daß die unmittelbar bei dem Kontakte erfolgende Mischung eine ganz innige wird und durch die Entzündung mittels des Funkens keine stellenweise Detonation, sondern eine einfache, durch den ganzen Raum sich ausbreitende Verbrennung der Leuchtgaspartikelchen in atmosphärischer Luft stattfindet.

Die Entzündung des Gasgemenges geschieht durch den elektrischen Funken, der durch einen Induktionsapparat hervorgerufen wird. Der eine Pol der Batterie, welche durch zwei Bunsensche Elemente gebildet wird, steht in konstanter Verbindung mit dem Cylinder. Der andre Poldraht ist isoliert durch die Wandung des Cylinders hindurchgeführt und steht im Innern oberhalb und unterhalb des Kolbens dem Metall des Cylinders mit seiner Spitze gegenüber, so daß bei jedesmaliger Unterbrechung oder Schließung, durch welche ein Induktionsstrom erzeugt wird, dieser in einem Funken überspringt und das Gas entzündet. In den Figuren 587 und 588 sind durch die punktierten Linien f f' die Drahtleitungen, in Fig. 587 ist durch a b c d der funkenerzeugende Apparat selbst angedeutet. Durch das Spiel des Kolbens wird die Unterbrechung des Stromes derart geregelt, daß der Funke allemal überspringt, wenn durch den Kolbenhub das nötige Gasquantum aufgenommen ist, und zwar entsteht bei jeder Unterbrechung ein Funke auf beiden Seiten des Kolbens; derselbe springt auch von beiden Drahtenden auf den Cylinder über, gelangt aber nur abwechselnd einmal vor, das andre Mal hinter dem Kolben zur Wirkung, wo sich gerade explosives Gas je nach der Stellung des Eintrittschiebers befindet.

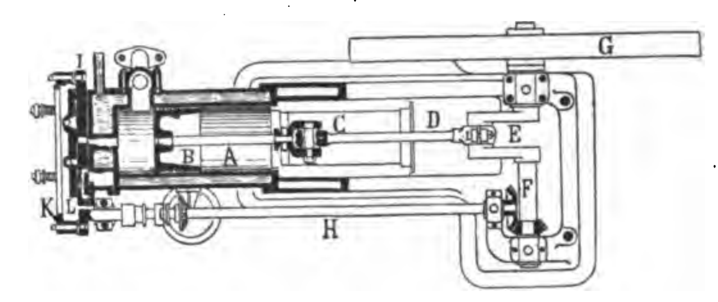


Fig. 590. Durchschnittsansicht von Ottos neuestem Gasmotor.

Der Gang der ganzen Maschine ist nun folgender. Zuerst ist es erforderlich, daß man die Schwungradwelle um ein Stück drehe, damit zunächst auf der einen Seite des Kolbens (in Fig. 588 auf der linken) Gas und Luft sich mischen und hinter den Kolben treten können. Das eingesaugte Gasgemenge wird, nachdem der Schieber die Zuführungsöffnung geschlossen hat, entzündet, und von jetzt an erfolgt die selbständige Bewegung der Maschine. Der Austrittschieber bleibt bis nahe an das Ende des Kolbenlaufs geöffnet, damit auf der rechten Seite des Kolbens die Luft, beziehentlich später die Verbrennungsgase zu entweichen vermögen. Bei allen darauf folgenden Kolbengängen wird das Einsaugen neuer Gasmenge von selbst durch die forteilende Bewegung des Schwungrades besorgt.

In der Ingangsetzung der Maschine liegt freilich eine kleine Unbequemlichkeit. Es kann ferner allerdings auch nicht geleugnet werden, daß der Gang des Kolbens im ersten Augenblick eine ganz besonders heftige Beschleunigung erfahren wird, die sich um so mehr bemerklich machen muß, je größer das zugeführte Quantum Leuchtgas ist, je mehr sich also das Gasgemenge in seiner Zusammensetzung dem Knallgase nähert. Indessen wird diesem nachteiligen Stoßen abgeholfen durch das Schwungrad einesteils, dem man deswegen doch nicht, wie von mehreren Seiten gefürchtet wurde, übertrieben große Dimensionen zu geben braucht; anderntheils hat man es ganz in seiner Gewalt, den Gehalt an Leuchtgas zu vermindern, sobald die explosive Wirkung zu ruckweise wird.

Marinoni hat am Cylinder zwei Ventile angebracht, durch welche bei jedem Kolbenhube ein feiner Strahl erwärmtes Wasser in das Innere fällt; dasselbe wird sofort in

Dampf verwandelt, welcher den Druck der ausgedehnten Gase erhöhen, ihre Expansion verlängern, einen Teil der Wärme binden und endlich mit dem Fette gleichsam als Schmiermittel zur Verminderung der Reibung innerhalb des Kolbens mit dienen soll. Die größten solcher Art konstruierten Maschinen repräsentieren 8 Pferdestärken.

In der Lenoirschen Maschine war vor allen Dingen der Entzündungsapparat einer Verbesserung fähig, da der elektrische Funke in der Praxis doch ein zu unsicherer Faktor war. Hugon beseitigte ihn denn auch, indem er die Entzündung des abwechselnd über und unter den Kolben geleiteten Gasgemenges durch kleine Gasflämmchen bewirkte, welche durch den Schieber übertragen werden. Der Schieber nämlich, welcher das Gasgemisch verteilt, kommt mit seiner Durchbohrung einmal oberhalb, dann unterhalb des Kolbens vor feststehenden Gasflammen vorbei; sein Gasgehalt entzündet sich und hält hinreichend lange Flamme, um die Entzündung durch den Gaskanal in das Innere das Cylinders zu übertragen, nachdem nach außen zu der Abschluß vollzogen ist. Mit der Detonation verlischt natürlich auch das kleine bewegliche Flämmchen, das zunächst auf der entgegengesetzten Seite des Kolbens in ganz derselben Weise auftritt und seine Wirkung ausübt. Langen und Otto in Köln hatten schon vor Hugon diese Entzündungsart angewandt und sie auch bei der Maschine, welche von ihnen auf der Pariser Ausstellung von 1867 Aufmerksamkeit erregte und seitens der Jury auch durch die große goldene Medaille ausgezeichnet wurde, vorgeführt; im übrigen aber unterscheidet sich die Langen-Ottosche atmosphärische Gaskraftmaschine von ihren Konkurrenten wesentlich. Das Gasgemenge, aus Leuchtgas und atmosphärischer Luft, wird von der Maschine bei jedem Kolbenhube selbst angesaugt und durch die uns bekannte Brennereinrichtung entzündet. Die Detonation treibt den Arbeitskolben gewaltsam in die Höhe, und zwar wird derselbe, welcher von ziemlicher Schwere ist, so weit durch seine lebendige Kraft emporgeschleudert, daß unter ihm Gasverdünnung und infolgedessen Abkühlung entsteht. Die atmosphärische Luft bekommt damit Überdruck, und dieser ist es, welcher im Verein mit dem Gewichte des Kolbens beim Herabgehen desselben zur Wirkung kommt. Beim Aufgange geht der Kolben leer, die Maschine ist somit in der That eine atmosphärische.

Die direkt wirkende Explosionsmaschine von Lenoir und Hugon ist wesentlich verbessert worden von Bishop, der namentlich für geringe Kraftbedürfnisse bis zu $^1/_{12}$ Pferdekraft damit einen vortrefflichen Motor geschaffen hat, indem für einen zehnstündigen Betrieb der Gaskonsum für die genannte Leistung nicht mehr als etwa $0{,}5$ Mark Aufwand erfordern soll. In bezug auf Ersparnis beim Gasverbrauch wird aber das größte Lob der Gasmaschine von Otto gespendet, bei der eine eigentümliche Mischung und Lagerung der zur Wirkung kommenden Gase den vorteilhaften Effekt hervorbringt.

Der sich in dem horizontalen Cylinder bewegende Arbeitskolben derselben (Fig. 590) läßt zwischen sich und dem Cylinder direkt auch bei seiner innersten Stellung noch einen Raum übrig, welcher jederzeit mit einem Teile der von der letzten Füllung herrührenden Verbrennungsgase gefüllt bleibt. Hat der Kolben beim Hube das Gemenge aus Gas und Luft geschöpft, so wird dasselbe bei dem durch das Schwungrad vermittelten Rückgange des Kolbens bis auf ungefähr 2 Atmosphären Überdruck verdichtet, ehe die am Boden eingeführte Zündungsflamme zur Wirkung kommt. Durch die Verdichtung sollen nun die einzelnen Teile des Leuchtgases derartig fein zerteilt und umhüllt werden, daß bei eintretender Zündung die gesamte Masse nicht zur Explosion kommen kann, sondern die Flamme gewissermaßen Zeit gebraucht, um vorzudringen und die einzelnen brennfähigen Teilchen zu erreichen. Die vor dem Cylinder liegende Luftschicht wirkt als ein elastisches Kissen, das den Stoß aufnimmt. Thatsache ist, daß das bei der älteren Form der Langen-Ottoschen Maschine sehr störend auftretende geräuschvolle Stoßen für so weit vermieden wird, daß man nur ganz in der Nähe des Cylinders die einzelnen Explosionen hört.

Eine genaue Regulierung der Mischung des Explosivgases ist Bedingung, dieselbe erfolgt aber durch den Gang der Maschine von selbst. Diese Maschinen werden bis zu einer Stärke von 25 Pferdestärken hergestellt. — Das Ottosche Prinzip ist auch von andern benutzt worden; in den Jahren vom Juli 1877 bis zum Januar 1881 waren auf Neuerungen an Gasmaschinen überhaupt 65 Patente erteilt worden.

Die Beurteilung des wirklichen Nutzeffektes der Gasmaschinen — das heißt das Verhältnis derjenigen Kraftmenge, welche man wirklich in mechanische Arbeit umsetzen kann, zu derjenigen Kraftmenge, welche theoretisch dem aufgewandten Brennmaterial entspricht — unterliegt sehr großen Schwierigkeiten. Jedenfalls sind die Gasmaschinen Motoren, welche dem Ziele einer möglichst vollständigen Verwandlung aller erzeugten Wärme in mechanische Kraft in ihrer jetzigen Einrichtung noch ferner stehen als unsre Dampfmaschinen, obwohl bei diesen die latente Wärme des Wasserdampfes einen stehenden und nicht unbedeutenden Abbruch verursacht. Denn bei den Gasmaschinen geht ein Teil der Wärme verloren, indem sie sich nutzlos auf das Metall des Cylinders verbreitet und von hier aus nicht mehr zu Kraft gemacht werden kann; ein Teil der schon wirksamen Kraft wird eingebüßt durch die Reibung und Stauchung der übertragenden Maschinenteile bei den gewaltsamen Explosionen, obschon, wie bei der Maschine von Otto bemerkt worden, diese Verluste sich verringert haben, andre Abgänge werden bedingt durch die gegen Dampfmaschinen immerhin unvollkommene Dichtung; kurz es würde da, wo es darauf ankommt, aus einem bedeutenden Kohlenquantum eine möglichst große Quantität mechanischer Kraft herauszuschlagen, das Prinzip der Gasmaschinen nicht in Anwendung gebracht werden können. Nichtsdestoweniger können dieselben bei zweckmäßiger Ausführung sehr wesentliche Vorteile insofern bieten, als sie an Orten zur Aufstellung gelangen können, wo Dampfmaschinenanlagen polizeilich nicht gestattet werden, oder wo der Kraftbedarf ein so geringer nur ist, daß die Dampfmaschine mit ihrer komplizierten Anlage und kostspieligen Bedienung ein zu teurer Motor sein würde. Die ganze Feuerung mit den dazu gehörigen Lagerräumen für das Brennmaterial, das Kesselhaus, die Esse, welche alle bei der Dampfmaschine notwendig sind, fallen bei der Gasmaschine weg, die Ausgaben für den Heizer werden erspart, denn die ganze Bedienung beschränkt sich darauf, von Zeit zu Zeit die Schmiervorrichtungen zu kontrollieren, damit diese nicht versagen — das ist aber die Arbeit eines Kindes; das ganze Raumbedürfnis für eine solche Maschine ist sehr gering; sie läßt sich fast in jedem Zimmer aufstellen, sofort in Betrieb setzen und ebenso rasch wieder ausschalten, ohne daß langes Vorheizen erforderlich wäre und ein nicht unbeträchtlicher Wärmeeffekt beim Stehenbleiben verloren ginge.

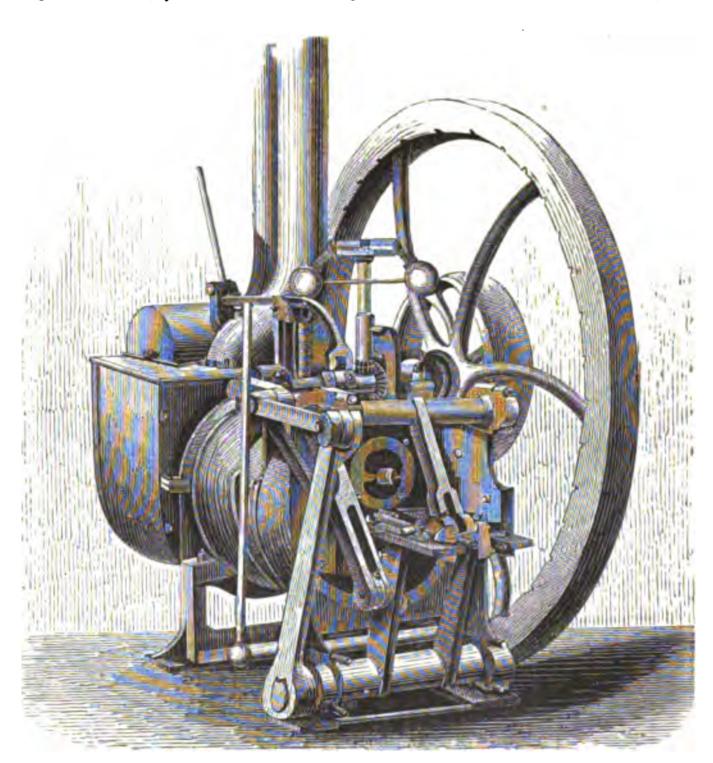


Fig. 591. Ericssons Heißluftmaschine. Vorderansicht.

An Orten, wo kein Gas zur Verfügung steht, kann man doch ähnliche Motoren, wie die vorher beschriebenen, in Betrieb halten, da sich in den leicht verdampfbaren Teerölen, Petroleum und Ligroin, gewissermaßen ein flüssiges Gas überallhin transportieren läßt.

Werden solche Öle durch einen zweckmäßig hindurchgeleiteten starken Luftstrom in Staubform mit fortgerissen, so entsteht ein Gemenge, welches ebenso explosiv ist wie die Mischung von Leuchtgas mit Luft, und das auf einer hierzu passend konstruierten Maschine zu gleichem Zwecke verwendet werden kann. Solche Petroleummaschinen bedürfen also eines besonderen Vorraumes, in welchem der Durchzug des Luftstromes durch die Öle erfolgt, welch letzteres, damit es eine große Oberfläche darbietet, über poröse Körper (Filz, Schwamm, Koks 2c.) verbreitet wird. Im übrigen entsprechen die für geringes Kraftbedürfnis leicht verwendbaren Maschinen durchaus den Knallgasmaschinen.

Die kalorischen oder Luftexpansionsmaschinen. Der erste, welcher dem Projekte nachging, anstatt der Expansion des Dampfes die Ausdehnung atmosphärischer Luft durch die Wärme als Triebkraft anzuwenden, dürfte wohl John Stirling in Glasgow gewesen sein. Derselbe setzte schon im Jahre 1827 eine Luftexpansionsmaschine in Thätigkeit; einige Jahre später trat Ericsson mit seinen Vorschlägen heraus (1833).

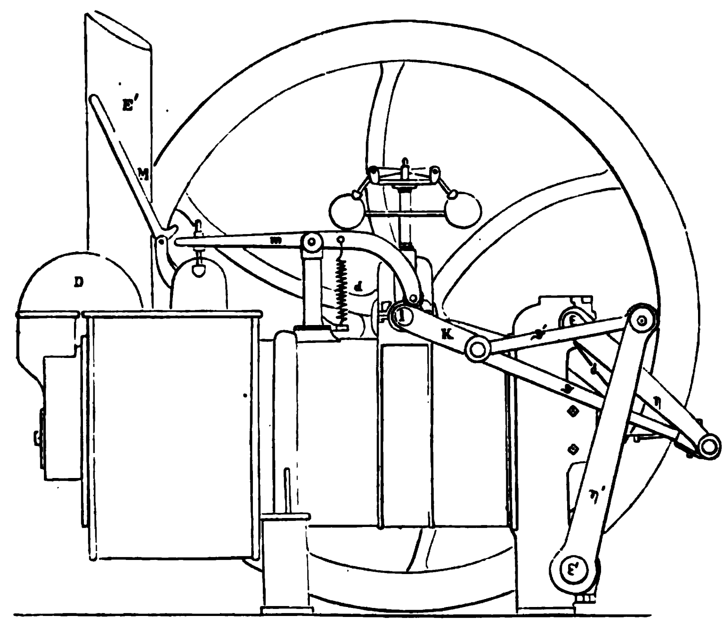


Fig. 592. Ericssons Heißluftmaschine. Seitenansicht.

Beide Maschinen machten aber anfänglich kein großes Aufsehen, weil sie den Ansprüchen nicht genügten, welche durch die Dampfmaschine schon längst berechtigt waren. Später als jene Ingenieure soll noch der lauenburgische Amtmann Prehn das Problem zu lösen versucht haben, er scheint aber auch keinen Erfolg gehabt zu haben.

Ericsson gab seine Bemühungen nicht auf. Er wandte sich nach Nordamerika, wo er Kapitalisten für das Unternehmen zu interessieren wußte, seine neue Maschine als Schiffsbeweger einzuführen. Mit einer rastlosen Thätigkeit, einem hellen, durchdringenden Verstande, der die Achillesferse jeder Schwierigkeit bald entdeckt, und mit nie ersterbender Energie arbeitete er an seinem Werke, und es gelang ihm, 1848 die erste nach verbessertem Systeme gebaute kalorische Maschine von 5 Pferdestärken aufzustellen; das Jahr darauf erfolgte die Aufstellung einer zweiten von angeblich 60 Pferdestärken, und die große Londoner Ausstellung zeigte zum erstenmal in Europa 1851 eine solche Maschine in Betrieb.

Der Name kalorische Maschine ist nicht sehr glücklich gewählt, denn er bezeichnet nur einen Wärmeapparat, ein solcher würde aber, selbst wenn man mit der Benennung den Begriff einer Umwandlung von Wärme in mechanische Kraft verbinden wollte, auch jede

Dampfmaschine und ebenso in gewissem Grade jede Knallgasmaschine sein. Besser schon ist der Ausdruck „Heißluftmaschine“. Am geeignetsten aber dürfte es sein, für die Maschinen dieser Art den Namen „Luftexpansionsmaschinen“ zu gebrauchen.

Am 15. Februar 1853 machte das erste Schiff, welches durch eine Heißluftmaschine bewegt wurde, der „Ericsson“, seine Probefahrt nach Alexandria, dem Hafen von Washington. Das Schiff hatte eine Länge von 80 m, war 13 m breit und hatte 2200 Tonnen Gehalt. Die Schaufelräder waren 3 m breit, 10 m hoch und wurden von einer Maschine, angeblich von 600 Pferdestärken, in Bewegung gesetzt. Trotz der bedeutenden Kohlenersparnis (man wollte mit dem zehnten Teile desjenigen Kohlenquantums, welches eine gleichkräftige Dampfmaschine konsumierte, ausgekommen sein) und trotz der sehr günstigen Berichte, die allenthalben über den neuen Motor laut wurden, müssen aber doch die Vorrichtungen, wie sie damals angewandt wurden, nicht die geeignetsten gewesen sein, denn der „Ericsson“ wurde im folgenden Jahre wieder in ein gewöhnliches Dampfschiff umgewandelt. Mit diesem seinem Schicksal schien „Vergessen“ das Los der Erfindung zu werden.

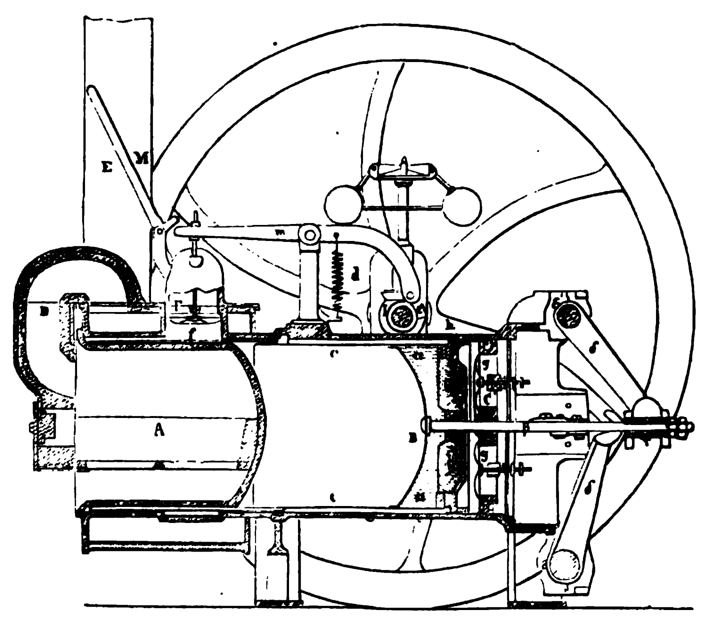


Fig. 598. Ericssons Heißluftmaschine. Vertikaldurchschnitt.

Man hörte lange Zeit nichts mehr davon; im stillen aber arbeitete Ericsson unausgesetzt an der Vervollkommnung seiner Erfindung, jetzt von dem richtigen Gedanken ausgehend, daß das Prinzip seine vorteilhafteste Anwendung auf Maschinen von geringerer Kraft finden dürfte. Die Maschine, welche unter seinem Namen zu Ende der fünfziger Jahre die Aufmerksamkeit der ganzen Welt auf sich zog, war in der That eine neue Erfindung. Ihre Einrichtung beruht auf Folgendem.

Wird ein gewisses Quantum gewöhnlicher atmosphärischer Luft um 100° C. erwärmt, so dehnt es sich um mehr als den dritten Teil seines ursprünglichen Volumens (genauer $^{11}/_{30}$) aus oder übt, wenn es diesem Expansionsbestreben nicht folgen kann, auf die umschließenden Wände einen entsprechenden Druck.

Das gilt nicht etwa bloß zwischen 0—100°, sondern darüber und darunter hinaus, überhaupt für jede Temperaturveränderung; und es ergibt sich hieraus, daß die Luft bei einer Erwärmung um 272° C. sich auf das Doppelte, bei einer solchen um 544° auf das Dreifache ihres Volumens ausdehnen muß, daß also ihre Spannung, die bei gewöhnlicher Temperatur ungefähr 1 kg (1 Atmosphäre) auf den Quadratzentimeter beträgt, bei jenen

höheren Hitzegraden 2 kg (2 Atmosphären), respektive 3 kg (3 Atmosphären) auf den Quadratzentimeter sein wird. Daß sich dies für die Bewegung eines Kolbens nutzbar machen muß, folgt ohne weiteres. Für die praktische Ausführung einer Luftexpansionsmaschine würde also zunächst nur die Bedingung Berücksichtigung verlangen, die Luft unter den Kolben immer in derselben Menge und von derselben Spannung treten zu lassen, sodann aber diesem Luftquantum auch jedesmal dieselbe Wärmemenge zuzuführen, es auf dieselbe Temperatur zu erhöhen, um einen gleichmäßigen Kolbenhub und damit einen regelmäßigen Gang der Maschine zu erreichen.

Ihrer Ausführung nach ist die Ericssonsche Maschine eine einfachwirkende, d. h. der Kolben wird nur in einer Richtung, vom Feuer abwärts, fortgetrieben, und der Rücklauf wird durch das ziemlich große Schwungrad bewirkt; es lassen sich indessen auch zwei Maschinen derart verbinden, daß sie abwechselnd ihren Antrieb auf eine Schwungradwelle abgeben. Der Cylinder ist, wie an den alten atmosphärischen Dampfmaschinen, am äußeren Ende offen und nur durch den arbeitenden Kolben geschlossen; am andern Ende ist der Feuerraum A so an den Cylinder an- oder vielmehr eingebaut, wie es Fig. 593 im Längsdurchschnitt zeigt.

Es bildet sonach der Feuerraum einen walzenförmigen Körper mit zugerundetem Ende, und der gegenüberliegende Kolben B ist nicht nur in gleichem Sinne gewölbt, sondern tritt zu dem Hitzespender in noch nähere Berührung dadurch, daß ihm eine blecherne Hülse oder Stulpe c c' angesetzt ist, welche, wenn der Kolben am weitesten nach links gegangen, den Heizraum wie ein Mantel umfaßt und in dieser Lage eine Quantität Hitze aufnimmt. Die Feuergase steigen vom Roste durch den gekrümmten Zug D empor, umziehen den hinteren Teil des Cylinders und entweichen dann durch das Rohr E in den Schornstein.

Suchen wir uns deutlich zu machen, wie die Maschine arbeitet, d. h. wie sie vorn bei jedem Umschwunge des Schwungrades einen Schluck Luft faßt, dieselbe hierauf in den hinteren Teil des Cylinders schiebt, wo sie sich an den heißen Flächen schnell erhitzt, ausdehnt und dadurch den Kolben einen neuen Impuls gibt. Den Kolben sagen wir, denn wir haben es hier in der That mit zwei solchen Körpern (C und B) und ihrem eigentümlichen Spiel zu thun. In unsrer Durchschnittszeichnung (s. Fig. 593) sehen wir beide Kolben in ihrer äußersten Stellung dicht bei einander; in ihrem Hin- und Herlauf aber, den jeder selbständig für sich ausführt, ergeben sich mehrfach wechselnde Abstände, denn der äußere Kolben C, der sogenannte Arbeitskolben, bewegt sich weit langsamer und hat einen nur etwa halb so langen Weg zurückzulegen als der innere oder Speisekolben B; er setzt sich von der gezeichneten Endstellung aus einen Moment später als jener in Bewegung und kommt ebenso etwas früher wieder an. Der Zweck dieser Einrichtung ist, wie wir sehen werden, das Hineinschaffen der nötigen Luft in den Cylinder. Der Speisekolben B dient aber, außer daß er die Wärme von dem Heizraume auf die eingesogene Luft überträgt, auch einem andern Zwecke: er soll nämlich den äußeren Kolben vor zu großer Erhitzung schützen, die seiner Dichtung schaden würde, und ist zu dem Ende mit einer die Wärme schlecht leitenden Füllung, Asche u. dergl., versehen (a a).

Mit der Außenseite steht der Speisekolben durch eine Kolbenstange β in Verbindung, welche in einer Stopfbüchse geht und unten durch den Arbeitskolben ins Freie tritt. Für den letzteren Kolben sind demzufolge zwei nebenstehende Stangen erforderlich, welche rechts und links von der Stange des Speisekolbens liegen.

Damit nun die äußere Luft von rechtsher bis zum Heizraume gelangen könne, müssen in beiden Kolben Ventile vorhanden sein, die sich abwechselnd öffnen und schließen. Bei dem Arbeitskolben bestehen dieselben aus zwei nach innen schlagenden federnden Klappen g g; bei dem Speisekolben dagegen dient hierzu ein den Kolben nahe am hinteren Ende reifenartig umgebender Stahlring. Dieser schleift mit seinem äußeren Umfange an den Cylinderwänden immer luftdicht; aber er liegt lose in einer Nute des Kolbens, die doppelt so breit ist als seine Dicke beträgt, kann also zweierlei Lagen annehmen, je nachdem der Luftdruck auf der einen oder andern Seite überwiegt. Die Lage, wo er rechts anstößt, nimmt er an, sobald das Einrücken des Speisekolbens beginnt, und in dieser Lage dichtet er, d. h. er läßt keine Luft von links nach rechts treten, treibt vielmehr die vor ihm befindliche, schon in

Arbeit gewesene durch das jetzt offene Auslaßventil F zum Cylinder hinaus; bei der Umkehr des Speisekolbens aber bleibt der Ring, da er nun einen Überdruck von rechtsher erfährt, zurück und legt sich links an die Nutewand. In dieser Stellung aber läßt er die Enden einer Anzahl kleiner Luftkanäle frei, die auf dem Umfange des Kolbens eingeschnitten sind, und es besteht nun zwischen beiden Partien des Cylinders so lange eine offene Verbindung, durch welche Luft von außen in den Innenraum des Speisekolbens tritt, bis der Speisekolben wieder einwärts rückt. In unsrer Abbildung Fig. 593 ist die Nute im Kolben unter h angedeutet. Gesetzt nun, es solle von der in der Zeichnung ersichtlichen Kolbenstellung aus ein neuer Umgang beginnen, so wird sich zunächst der Speisekolben nach linkshin in Bewegung setzen, während der Arbeitskolben noch in seiner Lage verharrt; das Ringventil schließt sich; dadurch muß zwischen beiden Kolben ein luftverdünnter Raum entstehen, es öffnen sich alsbald die Klappen des äußeren Kolbens, und es strömt so lange Luft von außen ein, als der Abstand zwischen beiden Kolben sich vergrößert. Nunmehr rückt auch der Arbeitskolben fort und strebt seinen Vorgänger einzuholen. Durch sein Fortgehen schließen sich natürlich seine Luftklappen sofort, und die Luft vor ihm erfährt eine Kompression, die sich vermehrt, wenn kurz darauf der Speisekolben seinen Rückweg antritt. Die Folge davon ist das Offenwerden des Ringventils und das Überströmen der kalten Luft in den Heizraum. Trotz ihres kurzen Aufenthalts hier erhitzt sie sich an den glühenden Wandungen auf 300° C., und die damit verknüpfte Ausdehnung ist die Kraft, welche die Kolben rasch nach dem äußeren Cylinderende hintreibt. Der jetzt offene Speisekolben hat bei diesem Heraustreiben weder etwas zu thun noch zu leiden; die Spannung setzt sich durch ihn hindurch bis zum Arbeitskolben fort, und dieser ist es, welcher den Antrieb empfängt. Schließlich gelangen die Kolben in ihre Anfangsstellung zurück, und ein Umgang des Schwungrades erfolgt, natürlich in kürzerer Zeit, als wir zur Beschreibung bedurften.



Fig. 594. Johann Ericsson.

Der verschiedene Gang und Angriff der beiden Kolben hat seinen Grund in den Hebeleinrichtungen, durch welche jeder Kolben unabhängig vom andern mit der Kurbel der Triebwelle zusammenhängt. Hierfür müssen wir auf das Detail der Zeichnungen verweisen, und damit der Leser sich die ruhenden Stücke um so leichter im Gange denken könne, was nach aufmerksamer Betrachtung nicht schwer ist, deuten wir die Wege an, auf welchen die Maschine abwechselnd neuen Antrieb erhält und Kraft zur Direktion der Kolben zurückgibt. Für die Doppelstange nämlich, also für den Arbeitskolben, geht dieser Weg zunächst nach unten, indem von den Stangen die beiden Speichen δ' δ' in Hin- und Herbewegung gesetzt werden, welche Bewegung der auf derselben schwingenden Welle stehende längere Hebel η' mitzumachen hat. Vom Kopfe dieses Hebels endlich geht die Zugstange ϑ' nach dem Zapfen der Kurbel K. Dies ist die eigentliche Kraftleitung.

Eine ähnliche Einrichtung, natürlich mit nur einfachem Hebelstück δ, besteht für die mittlere Kolbenstange; hier liegt die schwingende Welle E oberhalb, ein Hebel η läuft von ihrem Außenende abwärts, und von dessen Ende geht die Zugstange ϑ an den Kurbelzapfen. Die verschiedene Länge der Hebel und Zugstangen $\eta\,\vartheta$ und $\eta'\,\vartheta'$ veranlaßt die ungleichförmige Bewegung der Kolben. Zur Regelung des Ganges ist ein Kugelregulator

vorhanden, der auf ein kleines Ventil wirkt, welches seinen Sitz oben im Cylinder zwischen den Kolben hat. Dasselbe soll etwas heiße Luft aus dem Cylinder lassen, wenn die Spannung in demselben infolge zu starker Hitze zu groß wird. Der Hebel M dient zum Anhalten der Maschine, indem ein Druck auf denselben das Ventil F direkt öffnet.

Der interessanteste Teil der Ericssonschen Erfindung ist ohne Zweifel die Kombination der beiden Kolben. Bei den früheren Maschinen war die unvollkommene Dichtung ein wesentlicher Mangel, bei der in unsern Zeichnungen dargestellten ist derselbe so ziemlich beseitigt. Für die Dichtung des Arbeitskolbens reicht eine einfache Ledermanschette hin und als Schmiermittel genügt Talg, da die Erhitzung dieses Maschinenteiles eine ganz unwesentliche ist.

Was aber für die neue Maschine als eine Unvollkommenheit angesehen werden mußte, das war die Feuerungsanlage, welche eine genügende Ausnutzung des Brennmaterials nicht gestattete. Die Luft entweicht noch zu warm aus dem Innern, und wenn man sie auch nachträglich zum Heizen von Räumlichkeiten benutzen wollte, so ist doch damit nicht die zweckmäßigste Verwendung ihrer Wärme angedeutet, welche sie nur in der Maschine selbst finden kann. Dazu kommt, daß das Eisen, obwohl man es zu seinem Schutze mit Lehm überstreicht, durch die Hitze eine ziemlich rasche Zerstörung erleidet; daß die trockene Luft auf das Material und damit auf die Dauerhaftigkeit des Speisekolbens einen nachteiligen Einfluß ausübt; daß die Cylinder von einer ziemlichen Größe gebaut werden müssen, wodurch die Dichtung viel schwieriger zu erhalten ist, so daß man lieber zwei Cylinder zusammen arbeiten läßt; daß der Schmierverbrauch ein sehr großer ist; endlich auch, daß die Maschine nicht ruhig genug arbeitet. Das Schlagen der Hebelwerke, vorzüglich das Öffnen und Schließen des Ventils, verursachen großen Lärm und Erschütterungen, die für die Umgebung sehr unbequem sind; man hat zwar das störende Geklapper durch geschickte Benutzung verschiedenartigen Metalles zur Herstellung der betreffenden Teile vermindert, allein im großen ganzen blieben die Unvollkommenheiten der Ericssonschen Maschine noch so laut sprechend, daß die Teilnahme des Publikums, welche sich den neuen Maschinen anfänglich so freudig zugewandt hatte, in Gefahr kam zu erkalten. In der ungeheuren Maschinengalerie auf der Weltausstellung von 1867 waren denn auch nicht mehr als fünf Heißluftmaschinen vertreten.

Indessen die Maschinentechniker waren nicht der Meinung, den interessanten Motor, welcher bei gelungener Ausführung in ganz allgemeine Aufnahme kommen mußte, ohne weiteres aufzugeben, und im Laufe der letzten Jahre sind mancherlei Verbesserungen, teilweise ganz neue Konstruktionen aufgetaucht, welche das Problem zu lösen versuchen. So hat der Franzose Laubereau das Prinzip verfolgt, mit jedem Kolbenhube stets dieselbe Luftmenge in einem geschlossenen Cylinder zuerst zu erhitzen und darauf abzukühlen, ein Prinzip, welches wir in der später zu betrachtenden Lehmannschen Luftexpansionsmaschine wiederfinden werden. Roper, ein Amerikaner, erfand eine offene Maschine mit geschlossener innerer Feuerung. Eine Luftpumpe saugt möglichst kalte Luft auf und treibt sie unter den Kolben des Arbeitscylinders, wo sie mit der sonst abgeschlossenen Feuerung in direkte Berührung kommt und das Feuer unterhält. Aus dem Feuerungsraume tritt sie mit den Verbrennungsgasen gemischt in den Betriebscylinder und wirkt hier zuerst durch Volldruck, dann aber auch durch Expansion auf den Kolben. Shaw hat einen Regenerator, den Ericsson schon eingeführt hatte, wieder aufgenommen. Derselbe besteht aus einer größeren Zahl vertikaler Röhren und hat den Zweck, die Wärme der mit jedem Hube austretenden heißen Luft möglichst zurückzuhalten und an die frisch zuströmende kalte Luft wieder abzugeben u. s. w.

Indessen haben alle die verschiedenen Konstruktionen, mit Ausnahme der Ericssonschen und der Laubereauschen, wenig oder keine Aufnahme gefunden. Dagegen schien der schon erwähnten Luftexpansionsmaschine von Lehmann ein günstiges Prognostikon gestellt zu sein. Dieselbe ist eine Maschine mit offener Feuerung und stützt sich insoweit auf Laubereau, als in ihr auch immer dieselbe Luftmenge abwechselnd durch Erhitzung und Abkühlung zur Wirkung kommt.

Dieser Wechsel der Temperatur oder der Dichtigkeit des inneren Luftquantums wird erzielt durch eine geistreiche Einrichtung im Innern des Cylinders, infolge deren die Luft

alternierend in zwei, miteinander nur durch einen engen Verbindungskanal zusammenhängende Räume, einen Erhitzungsraum und einen Kühlraum, gepreßt wird.

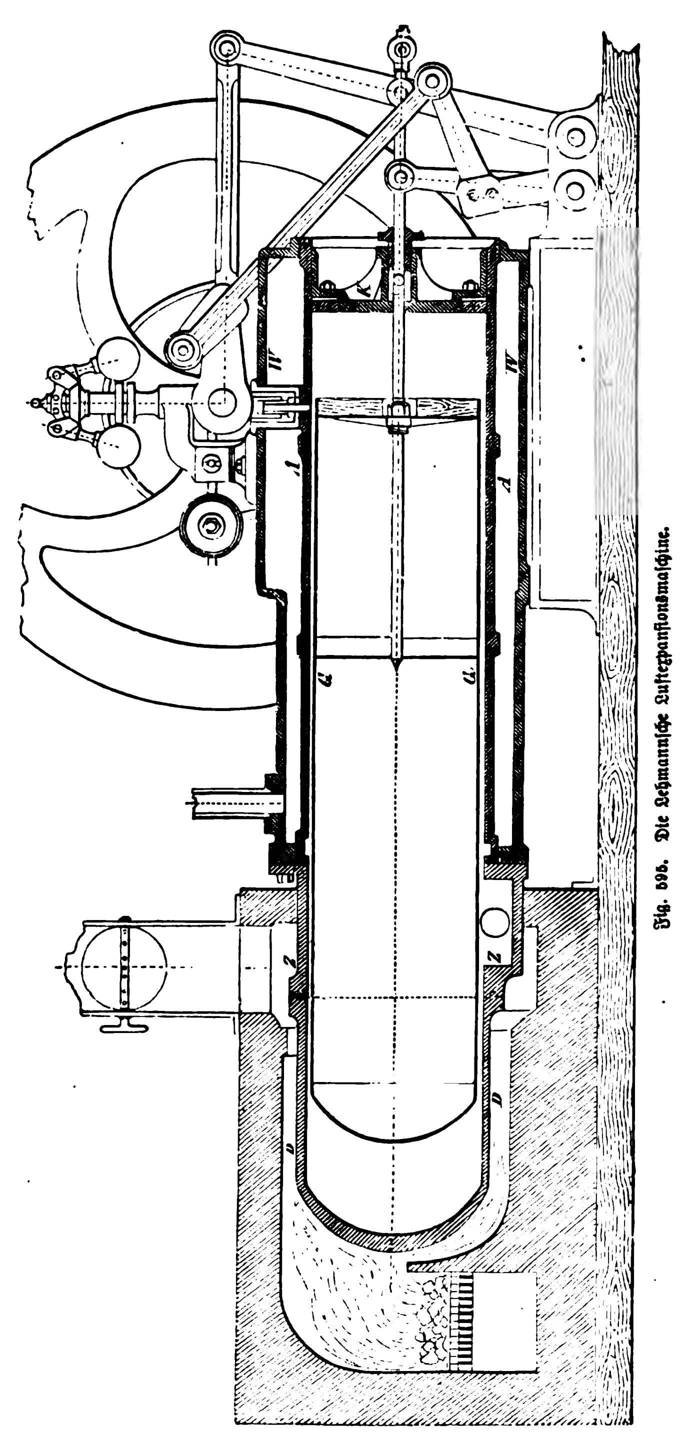


Fig. 596. Die Lehmannsche Luftexpansionsmaschine.

Der Cylinder ist von ziemlicher Länge und hinten durch den Feuerraum geschlossen, ähnlich wie bei der Ericssonschen Maschine Fig. 593, vorn durch den Arbeitskolben, welcher ebenso entsprechend durch Hebel und Zugstangen mit der Welle des Schwungrades in Verbindung steht. Zwischen dem Arbeitskolben und dem Feuertopfe bewegt sich ein in allen seinen Teilen luftdicht genieteter Blechcylinder, der Verdränger oder Verteilungskolben, so genannt, weil er durch sein Vor- und Rückgehen die Luft beziehentlich in den hinteren, den Kühlraum, oder den vorderen, den Heizraum, preßt. Dieser Verdränger rollt auf einer losen Walze, welche in unsrer Durchschnittszeichnung in ein besonderes, etwas tiefer gelegenes Bett angewiesen ist; er bewegt sich mit seiner Kolbenstange unabhängig von dem Arbeitskolben, und zwar so, daß seine Kurbelbewegung derjenigen des Arbeitskolbens immer um 65 Grad vorauseilt, so daß er während eines großen Teiles seiner Bewegung einen der Bewegung des Arbeitskolbens entgegengesetzten Lauf hat, infolgedessen er die größte Luftmenge in den Heizraum gerade zu der Zeit preßt, wo der Arbeitskolben seinen tiefsten Stand hat. Die Ausdehnung, welche sie hier erfährt, treibt den Arbeitskolben nach vorn, zugleich aber

vollbringt der Verdränger seinen Rückweg, und indem die erhitzte Luft in den Kühlraum gepreßt wird, verdichtet sie sich wieder und nimmt ein kleineres Volumen ein, wodurch der Druck der äußeren atmosphärischen Luft das Übergewicht bekommt und den Arbeitskolben zum Rückgange zwingt. Es ist der Gang der beiden Teile, des Verdrängers und des Arbeitskolbens, so abgemessen, daß die mittlere Dichtigkeit des gesamten unter dem Arbeitskolben befindlichen Luftquantums am geringsten ist, wenn derselbe seinen höchsten Stand eingenommen hat; am größten dagegen, wenn jener am tiefsten steht, und das ist in der Lehmannschen Maschine bei einer Differenz der Kurbelstellung von 65° der Fall.

In Fig. 595 ist AA der lange gußeiserne Cylinder; vorn wird derselbe von dem Mantel WW umschlossen, innerhalb dessen das Abkühlungswasser zirkuliert. Der hintere Teil ZZ geht in den gußeisernen Feuertopf DD über; K ist der Arbeitskolben, welcher den Cylinder nach vorn schließt und mittels Zugstangen und Göpel mit der Kurbel der Schwungradwelle in Verbindung steht. GG ist der Verdränger, ein langer, luftdicht genieteter Blechcylinder, welcher vorn mittels einer in einer Stopfbüchse durch den Arbeitskolben mitten hindurchgehenden Stange von der Kurbel des Schwungrades aus durch Hebel und Zugstangen seine Bewegung erhält.

Der Verdränger darf bei seinem großen Volumen doch kein großes Gewicht haben, weil er, nur an der Kolbenstange hängend, keine andre Führung hat als die schon erwähnte lose Rolle, und seine Bewegung doch möglichst wenig Widerstand und Reibung verursachen soll. Deswegen ist er als ein hohler Blechcylinder hergestellt. Es wird jedoch bei ihm der Umstand von der größten Wichtigkeit, daß die Vernietung überall vollständig luftdicht abschließt; denn wäre dies nicht der Fall, so würden alle Spannungsdifferenzen, die durch die beiden verschieden kalten Räume hervorgerufen werden und zur Wirkung auf den Arbeitskolben gelangen sollen, sich zunächst auch auf die Luftmasse im Innern des Verdrängers erstrecken und nur in geringem Grade noch eine Reaktion auf diejenigen Teile ausüben, welche die Kraft als Arbeit nutzbar machen sollen. Der Gang der Maschine würde ein matter, schleppender werden, und es ist daher nicht nur von vornherein auf die gute Herstellung des Verdrängers Wert zu legen, sondern auch seiner Instandhaltung immer gehörige Berücksichtigung zu schenken.

Wenn sich der Verdränger nach links bewegt, so treibt er die in dem Feuertopfe erhitzte und ausgedehnte Luft durch den engen Raum bei ZZ nach dem abgekühlten Raume unter dem Arbeitskolben, hier verdichtet sie sich, der Arbeitskolben wird durch den atmosphärischen Überdruck hinabgepreßt. Mittlerweile aber hat der Verdränger schon seine Bewegung nach rechts begonnen, er drängt die vorher abgekühlte Luft wieder zurück in den Feuertopf, wo sie sich aufs neue erhitzt und durch ihre Expansion den Arbeitskolben nach rechtshin aufwärts treibt. Der enge Kanal zwischen dem Heizraum und dem Abkühlungsraum ist gewissermaßen die neutrale Zone; nach dem Arbeitskolben hin wird der Raum durch das von der Maschine selbst stets frisch zugepumpte Kühlwasser kalt erhalten, in dem Feuertopfe herrscht eine hohe Temperatur. Die Übelstände, welche diese mit sich führt, und die namentlich in der raschen Oxydation der Kesselwände bestehen, sind schwierig zu umgehen; da man den Sauerstoff der Luft von dem erhitzten Metall in keiner Weise ganz und gar abhalten kann.

Der Arbeitskolben jedoch kommt nur mit abgekühlter Luft in Berührung, und es unterliegt deshalb seine Dichtung bei der Lehmannschen Maschine weit weniger der Zerstörung als bei den übrigen Heißluftmaschinen. Die Liderung des Arbeitskolbens ist übrigens insofern noch zu erwähnen, als sie nicht vollständig abschließend wirkt, sondern durch einen Lederflansch, der nach innen zuschlägt, der atmosphärischen Luft den Eintritt gestattet, wenn beim Rückgange des Kolbens, der nur durch das Schwungrad bewirkt wird, der äußere Druck größer sein sollte als der innere.

Die Lehmannsche Maschine ist in Amerika von Rider nachgeahmt worden. In dieser Abänderung hat sie ebenfalls einen Arbeitscylinder a, der aber vertikal steht, und einen gleichfalls vertikalen Kompressionscylinder b. Der erstere wird von der Feuerluft erhitzt, der letztere durch Wasser abgekühlt. Beide Cylinder werden durch das Rohr e, welches den aus dünnen Metallplättchen zusammengesetzten Regenerator enthält, verbunden, und ist

das Arrangement c und d derart, daß wenn c seine höchste Lage einnimmt, der Arbeitskolben d in der Mitte seines Hubes steht und sich nach unten bewegt, so daß er seine tiefste Lage hat, wenn c in der Mitte angekommen ist, die eingeschlossene Luft in b hat sich dabei auf etwa ein Drittel ihres Volumens durch die vom Schwungrade hergegebene Kraft verdichtet; bei der nächsten Vierteldrehung kommt c in die tiefste, d in die mittlere Lage. Die Luft strömt von b nach a über, wird in dem Regenerator erhitzt und von der Ofenwärme in a noch weiter ausgedehnt; es findet die Kraftübertragung an das Schwungrad statt. Der Lufteintritt nach c erfolgt während der nächsten zwei Vierteldrehungen und nimmt in dieser Zeit auch der Regenerator wieder seine abgegebene Wärme auf.

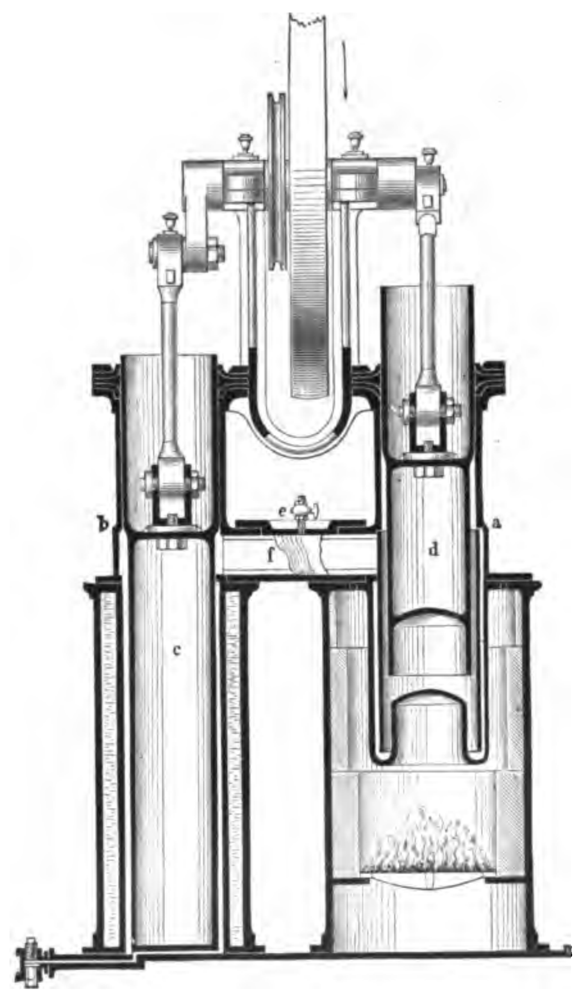


Fig. 596. Die Ridersche Luftmaschine.

Die weiteren Umgestaltungen, welche die Luftmaschine erfahren hat, glauben wir hier übergehen zu können; eine Besprechung all der Vorschläge und Konstruktionen, welche Renaes, Hofmann und Buschmann, ebenso diejenigen, welche sich auf Vervollkommnung der offenen Luftmaschine von Ericsson beziehen, wie die von Roper, Belon und die sehr vortreffliche von Hock in Wien, würde uns doch sehr weitab führen.

Unsre Leser werden sich selbst das Bild machen, daß mit den bis jetzt ausgeführten Verbesserungen die Heißluftmaschine ebensowenig wie die Gasmaschine die höchste Stufe der Vollkommenheit erreicht hat; immerhin sind aber beträchtliche Erfolge zu verzeichnen, die hoffen lassen, daß vielleicht doch noch aus einer oder der andern dieser Maschinen ein geeigneter Motor für geringere Kraftbedürfnisse hervorgeht.

Dieser Gegenstand ist besonders für kleinere Ortschaften von Bedeutung, da sich in großen Städten eher noch die Möglichkeit bietet, durch Assoziationen einzelner kleiner Kraftkonsumenten eine größere Kraftquelle, wie eine Dampfmaschine, rationell auszunutzen, die städtische Wasserleitung als Betriebskraft zu benutzen oder durch Arbeitsteilung die Kraftbedürfnisse zu lokalisieren. — In kleineren Orten, wohin sich naturgemäß wieder manche Industriezweige werden zurückziehen müssen, stehen derartige Aushilfsmittel aber nicht so leicht zu Gebote; nichtsdestoweniger sind zu viele Vornahmen an die maschinistische Ausführung gebunden, für die als Betriebskraft dann nur die kostspielige menschliche Muskelkraft verwendet werden könnte, als daß der Wunsch nach einer Kraftmaschine von $1/4$—3 Pferdestärken verstummen sollte, wenn er auch nicht gleich seine gänzliche Erfüllung findet.



Nach dem Echterschen Wandgemälde im Staatsbahnhof zu München.

In solcher Fahrt ist eine Art
Von göttlicher Allgegenwart.
Auf welchem Punkt im Erdenrunde,
Wo willst du sein, zu welcher Stunde?

Setz' ein, fahr' zu, halt' an, steig' aus,
Steig wieder ein und sei zu Haus!
Du hast, was Monde sonst getrennt,
Wie Sonn' in einem Tag durchrennt.

Rückert.

Lokomotive und Lokomobile.

Geschichte des Dampfwagens. Die Lokomotive Cugnots. Oliver Evans' Dampfwagen. Trevithick und Vivians Versuche. Blenkinsop, Brunton u. s. w. Georg Stephenson und seine Lokomotiven auf der Stockton-Darlington- und der Liverpool-Manchester-Bahn. Der Sieg der Rakete. Spätere Vervollkommnungen. Engerth. Crampton. Fell u. s. w. Die maschinistische Einrichtung der Lokomotive. Die Lokomobile.

Wenn wir die Geschichte der Lokomotive, dieser jedenfalls interessantesten und auf die Umgestaltung aller modernen Verhältnisse einflußreichsten Form der Dampfmaschine, verfolgen, so müssen wir uns wundern, daß dieselbe in ihrer wirklich brauchbaren Gestalt nicht so gar weit zurückreicht. Selbstverständlich werden wir schon nicht über das Zeitalter der Dampfmaschine hinausgehen, wenn wir nach der Kindheit der Tochter fragen, aber wir müssen es doch merkwürdig finden, daß beispielsweise der Dampfwagen dem Dampfschiff gegenüber eine viel langsamere Entwickelung fand, die noch lange nicht abgeschlossen war, als bereits die von Dampf getriebenen Schaufelräder der Schiffe alle Wasserstraßen der Erde durchfurchten. Und doch sind die Lokomotiven viel weniger kompliziert in ihrer Einrichtung als die Dampfschiffe, welche für bei weitem längere Fahrten den Brennmaterialbedarf mit sich führen müssen, und denen also eine möglichst weitgetriebene Schonung des Heizmaterials zum ersten Gesetz wird, während die Lokomotiven nur auf sehr geringe Strecken ihre Brennstoffe mitzunehmen brauchen. Aber die Dampfschiffahrt wird durch den Umstand begünstigt, daß bei ihr feste Maschinen in Anwendung kommen können, während die Lokomotive nach verschiedenen Richtungen hin ganz neue Erfindungen verlangte. Auch

konnte dann erst die Lokomotive vorteilhaft werden, nachdem der Verkehr sich so weit entwickelt hatte, daß sich die Anlage besonderer Eisenbahnen verlohnte, während das Dampfschiff die Erfindung einer besonderen und sehr kostbaren Fahrstraße nicht verlangt, sondern vielmehr auf jedem Flusse seine Wirksamkeit beginnen kann. Indessen wollen wir chronologisch den Gang verfolgen, den die Erfindung nahm.

Sehr bald, nachdem die praktische Anwendbarkeit der Dampfmaschine bewiesen war, ging man auch darauf über, die neue Kraftäußerung auf die Fortbewegung von Wagen anzuwenden. Allein diesem Gedanken stellten sich im ersten Anlaufe ganz unbesiegbar erscheinende Hindernisse entgegen. Die einzigen Dampfmaschinen, welche man bis zu Anfang dieses Jahrhunderts kannte, waren, wie wir wissen, solche mit Kondensation. Nun konnte man aber nicht daran denken, dieselben für die Fortbewegung von Menschen und Gütern anzuwenden, weil zur Kondensierung der Dämpfe ein großes Wasserquantum verlangt wurde, welches mit fortzuschaffen viel zu viel Kraft beanspruchte.

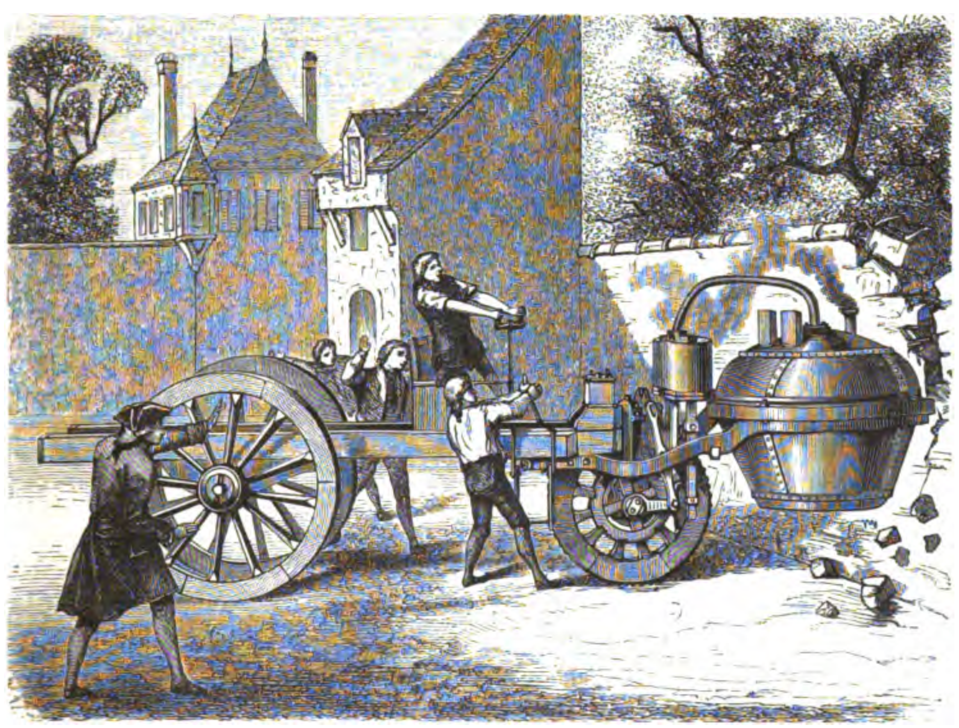


Fig. 698. Der Dampfwagen Cugnots (Paris 1769).

Diesem Übelstande vermochte man erst zu begegnen, nachdem die Hochdruckmaschine erfunden worden war. Die Beschaffenheit der gewöhnlichen Straßen, für welche alle Lokomotiven anfangs projektiert wurden, war ein zweites Hindernis. Diese Wahrheiten waren jedoch nicht von vornherein so klar erkannt, daß nicht einige Mechaniker sich trotzdem mit der Idee beschäftigt hätten, die Zugkraft der Pferde durch die Expansionskraft des Dampfes zu ersetzen. So erwähnt man unter anderm, daß bereits 1759 ein Zögling der Universität Glasgow, der spätere Dr. Robinson, die Absicht aussprach, den Dampf zum Drehen von Wagenrädern zu benutzen. Der erste Mechaniker aber, der dieselbe Absicht ausführte, scheint der Franzose Cugnot gewesen zu sein.

Joseph Cugnot, zu Void in Lothringen am 25. September 1725 geboren, hatte in seiner Jugend in Deutschland als Ingenieur gearbeitet, ging dann in die Niederlande und beschäftigte sich namentlich in Brüssel mit der Lösung der Aufgabe, die Beförderung von Kriegsmaterial durch Dampf zu bewerkstelligen. Im Jahre 1763 ging er nach Paris zurück, wo er seine Versuche fortsetzte und 1769 das Modell eines Dampfwagens konstruierte,

welches dem bekannten Artillerieingenieur Gribeauval zur Prüfung vorgelegt wurde. Dieser Dampfwagen von Cugnot wurde durch eine Maschine in Bewegung gesetzt, welche der Hauptsache nach aus zwei bronzenen Cylindern bestand. In diese vertikal stehenden Cylinder trat der Dampf aus dem Kessel mittels einer Röhre; außer der Kommunikation mit dem Kessel bestand für die Cylinder noch eine zweite mit der freien Luft, um den Dampf zu entlassen, wenn er seinen Effekt ausgeübt hatte. Der Dampfkessel, am Vorderteile des Wagens angebracht, hatte die Form eines abgeplatteten Sphäroids, der Feuerraum befand sich in seinem unteren Teile. Der Wagen hatte drei Räder, deren hinterste beide bloße Laufräder waren, indem nur auf das vorderste die Dampfkraft wirkte. Um aber mehr Angriff auf dem Boden zu haben, war dieses Triebrad mit einem stark gerieften eisernen Reif umgeben. An der Kolbenstange, welche nach unten zu aus jedem der Cylinder herausragte, saß die Kurbel. Der Kolben wirkte nur durch einfachen Effekt; war er durch die Spannung des Dampfes auf seinen tiefsten Stand herabgetrieben, so wurde die Kommunikation mit dem Kessel unterbrochen, dagegen das Ventil nach außen zu geöffnet, so daß der Dampf ausströmen konnte, worauf die nun durch den Niedergang des zweiten Kolbens eintretende Kurbelbewegung den ersten Kolben wieder auf seinen höchsten Stand zurückführte. Das Vorderteil des Vehikels war drehbar und das Ganze so lenkbar, wie ein gewöhnlicher von Pferden gezogener Wagen.

Die Geschwindigkeit betrug 4 km die Stunde.

Die Cugnotsche Lokomotive war nun zwar eine Hochdruckmaschine — aber sie war an sich immer noch viel zu unvollkommen, als daß ihre Anwendung Aussicht auf Erfolg hätte haben können. Mußte doch Cugnot, um nur eins zu erwähnen, zur Speisung des Kessels alle Viertelstunden neues Wasser einnehmen. Eine Regulierung der Kraft war fast gar nicht möglich, und die undirigierbare Gewalt der Maschine wurde denn auch ihr Verderben. Bei einer Probefahrt rannte der Apparat gegen eine Mauer des Arsenals, die er zertrümmerte; darauf wurde er zurückgestellt und befindet sich jetzt noch im Conservatoire des arts et métiers. Cugnot erhielt eine kleine Pension, welche ihm, als sie ihm die Revolution genommen hatte, Napoleon wieder zahlen ließ. Im Jahre 1804 und im Alter von 79 Jahren starb dieser erste wirkliche Lokomotivenführer.

Der üble Erfolg, den der Cugnotsche Dampfwagen davongetragen hatte, hielt die Mechaniker ab, sich vor der Hand weiter mit dem Gegenstande zu beschäftigen, und für Europa vergingen volle 30 Jahre, während deren für die Lösung des Problems gar nichts gethan wurde. James Watt spricht zwar in einem seiner Patente (1784) ebenfalls den Gedanken aus, einen Wagen durch eine Dampfmaschine ohne Kondensation zu bewegen, und Symington und Murdoch, welche mit Watt zusammen arbeiteten, versuchten sich an der Ausführung, die Sache hatte aber keine weitere Folge; das Bedürfnis sprach noch nicht lebhaft genug.

In Amerika dagegen kam 1786 Oliver Evans beim Kongreß des Staates Pennsylvanien um zwei Patente ein, von denen sich das eine auf eine Mühle, das andre auf einen Dampfwagen bezog — das erstere wurde anstandslos erteilt, bezüglich des zweiten schüttelte man jedoch die Köpfe und zweifelte an der gesunden Vernunft des Patentsuchers. Zehn Jahre später ging Evans mit demselben Gesuch an den Kongreß von Maryland; hier erlangte er zwar das nachgesuchte Privilegium, aber mit einer so mißtrauischen Kritik, daß daraufhin keine Kapitalisten gefunden werden konnten, welche die Ausführung ermöglicht hätten. Evans wandte sich infolgedessen mit seiner Maschine nach London, in der Hoffnung, hier Glauben und Geld zu finden — ebenfalls umsonst. Indessen hatte er um 1800 so viel Mittel sich selbst verschafft, um an den Bau eines Dampfwagens gehen zu können. In Philadelphia, wo er wieder auftrat, beschäftigte man sich jetzt zwar viel mit seinem Unternehmen, aber immer nur, um dasselbe lächerlich zu machen. Nichtsdestoweniger setzte es Evans mit aller Anstrengung durch, daß er Ende des Jahres 1800 mit seiner Lokomotive „Oructer Amphibolus“ durch die Straßen der genannten Stadt fuhr.

Obwohl nun der Augenschein lehrte, daß von seiten der Technik die Ausführbarkeit gesichert sei, war der wirkliche Erfolg dennoch für Evans gleich Null. Niemand wollte das Risiko an einem so unerhörten Dinge teilen, und anstatt eine Lokomotivbauanstalt in großem Maßstabe errichten zu können, wie er geträumt hatte, mußte Evans wieder anfangen, seine

gewöhnlichen Dampfmaschinen zu bauen. Indessen blieb die Beschäftigung mit dem Dampfwagen insofern von Einfluß für ihn, daß er von jetzt ab sich ausschließlich der Vervollkommnung der Hochdruckdampfmaschinen widmete.

Evans starb 1819, nachdem er noch den Kummer erlebt hatte, seine Werkstätten in Pittsburg verbrennen zu sehen. Seine Ideen aber waren nicht ganz fruchtlos geblieben. Zwei Mechaniker, Richard Trevithick, Ingenieur in den Bergwerken von Cornwall, und Andrew Vivian, welche nach Evans' Prinzipien Hochdruckdampfmaschinen bauten, sahen die Vorteile ein, welche die Anwendung dieser Art von Dampfmaschinen als Motor von Wagen zur Beförderung von Lasten bieten mußte. Sie erfanden eine Lokomotive und nahmen (1802) eine Patent auf eine „Dampfmaschine zum Fortbewegen von Wagen". Der Trevithick-Viviansche Dampfwagen (s. Fig. 599) ähnelte in seiner äußeren Form sehr den Diligencen, wie sie zu damaliger Zeit auf den Straßen gefahren wurden. Zwischen den hohen Rädern befand sich ein breiter, fester, eiserner Rahmen auf den Radachsen befestigt. Dieser Rahmen trug den Dampfkessel A, welcher von einer Feuerröhre B durchzogen war. Aus dem oberen Teile des Kessels wurde der Dampf durch ein Rohr in den Cylinder geleitet, wo er dem Kolben seine Bewegung mitteilte, die sich mittels Bleuelstange, Kurbel und Zahnräder auf die Achse mit den beiden Triebrädern K übertrug. Vorn befand sich ein einzelnes Rad, welches zum Lenken diente.

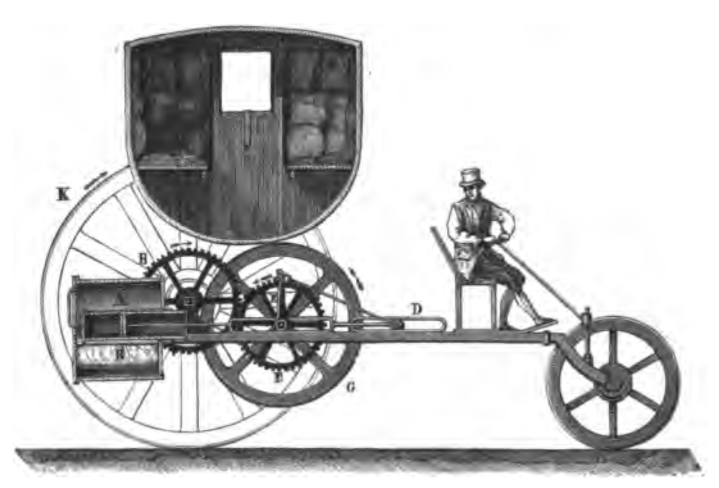


Fig. 599. Dampfwagen konstruiert von Trevithick und Vivian (1801).

So inventiös die Anordnung der einzelnen Teile dieses Mechanismus war, so konnte derselbe eine allgemeinere Aufnahme doch nicht finden, zunächst schon aus dem Grunde, weil die große Reibung der gewöhnlichen Straßen ein zu beträchtliches Hindernis für die Entwickelung einer irgendwie namhaften Zugkraft blieb. Aber auch aus andern Gründen erwiesen sich die chaussierten Wege für den Dampfwagen als untauglich; vor allem waren sie nicht widerstandskräftig genug und gestatteten auch keinen ganz ruhigen Gang. Die beiden Erfinder indessen ließen die Hoffnung nicht sinken.

Was auf den gewöhnlichen Straßen nur schwierig ging, konnte auf den Eisenbahnen, wie sie in den englischen Kohlenwerken in Gebrauch waren, ein sehr viel leichteres Fortkommen finden. Sie suchten nach und erlangten im März 1802 ein Privileg auf ihren Dampfwagen für Schienengleise. Der weiteren Verfolgung dieser sehr richtigen Idee stellte sich aber bald wieder das gerade entgegengesetzte Vorurteil entgegen. Obwohl die Reibung auf den gewöhnlichen Straßen sich bei dem großen Gewicht des Dampfwagens thatsächlich als zu groß und kaum zu besiegen erwiesen hatte, sollten nach der Meinung der Fachmänner, welche die Teilnahme des Publikums bestimmten, jetzt auf einmal die Schienengleise zu glatt sein, zu wenig Reibung, zu wenig Halt für die drehenden Räder bieten, wenn den letzteren zugemutet würde, eine einigermaßen erhebliche Last zu ziehen. Unter diesem Vorurteile siechte die Erfindung lange, denn man bemühte sich jetzt, nachdem man sich doch anderwärts von den Vorzügen der Schienenbahn überzeugt hatte, durch allerhand Vorrichtungen einem Übelstande zu begegnen, den man sich gleichwohl nur einbildete. Alle Welt war fest überzeugt, daß die Reibung auf den Schienen vermehrt werden müsse, ohne nur erst die Thatsachen zu prüfen und zu untersuchen, ob überhaupt ein zu geringer Widerstand

vorhanden sei. Trevithick selbst baute unter dem Eindrucke dieser Ansicht eine Bahn, auf welcher er, um den Angriff zu verstärken, die Köpfe starker eiserner Nägel herausstehen ließ, welche in Vertiefungen am Umfange der Radkränze eingreifen und letztere vor dem Herabgleiten schützen sollten.

Die Lokomotive von Blenkinsop, welche derselbe 1811 für die Eisenbahn Middleton-Leeds konstruierte, hatte zum eigentlichen Triebrade ein gezahntes Rad, welches in ein gleichfalls gezahntes Gleis eingriff. Die übrigen vier Räder dienten bloß als Laufräder. Chapmann ging von einem andern Prinzip aus; er brachte (1812) längs der ganzen Bahn eine Kette an, die an beiden Endpunkten festgemacht und um eine unter der Maschine befindliche Rolle geschlungen war, wie es bei der Kettenschleppschiffahrt noch in Anwendung ist. Brunton gab (1813) seiner Maschine gar Schubstangen, AA (s. Fig. 601), welche durch die Dampfkolben bewegt, wie die Beine des Pferdes, oder wie die Staken der Schiffer, den Körper vorwärts stoßen sollten. Alle diese nutzlosen Vorrichtungen komplizierten die Maschine zu sehr und setzten sie häufigen Verletzungen aus. Erst Blacket war es, welcher in demselben Jahre auf den Gedanken kam, durch das Experiment zu untersuchen, ob sich die Sache wirklich verhielte, wie man annahm, ob die Reibung zwischen eisernen Schienen und eisernen Rädern wirklich zu gering sei, um bei der doch nicht unbedeutenden Belastung der Lokomotive eine entsprechende Zugkraft zur Wirkung kommen zu lassen. Dabei fand er denn, daß die Annahme von zu geringer Reibung alles faktischen Grundes entbehre und daß die Adhäsion der Räder an ihrer Unterlage unter allen Umständen groß genug sei, um aller ähnlichen Mittel, wie sie Blenkinsop und Brunton angewandt hatten, entraten zu können. Damit war das Haupthindernis, welches lange Zeit die Vervollkommnung der Lokomotive gehemmt hatte, beseitigt: die falsche Voraussetzung. Georg Stephenson, der jetzt in die Geschichte der Lokomotive eintritt, war mit dem Stande, auf welchem sich die Maschine befand, und mit den zu ihrer Verbesserung vorgenommenen Versuchen sehr wohl bekannt. Unter seinen und seines Sohnes Händen wurde der Dampfwagen fertig, d. h. er erhielt alle die Hauptbestandteile, welche seinen Mechanismus zu einem sozusagen organischen machten.

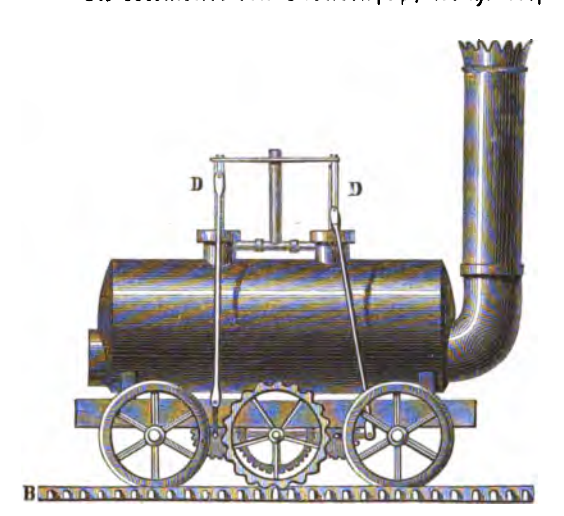


Fig. 600. Lokomotive von Blenkinsop (1811).

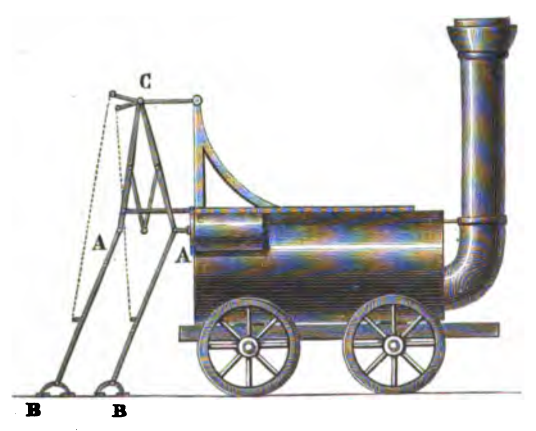


Fig. 601. Lokomotive von Brunton (1813).

Georg Stephenson, welcher am 9. Juni 1781 zu Wylam, einem kleinen Orte in der Nähe von Newcastle upon Tyne, geboren war, gehörte einer armen Arbeiterfamilie an und arbeitete zuerst als Bergmann in den Kohlenwerken der dortigen Gegend. Mit 14 Jahren etwa überkam er das Amt eines Heizers in einem Maschinenhause; dabei lernte er die Einrichtung der Dampfmaschine kennen und sein offenes Auge sowie sein mechanisches Geschick



Stephenson und seine erste Lokomotive.

ließen ihn bald die Ausführung von Reparaturen für die benachbarten Werkstätten übernehmen. Ohne jede andre Schule als die seiner Erfahrung, ohne andre Mittel als seine hohe Intelligenz, gelang es ihm, von hier ab sich zu einem der Mächtigsten auf dem Gebiete der Maschinentechnik emporzuschwingen, und zwar rasch, wie die Jahreszahlen seiner Erfolge beweisen. Sehr jung verheiratet, ward ihm zeitig der Stolz, seinen Sohn Robert (geboren 1803), dessen eminente Begabung in derselben Richtung, wie seine eigne, sich sehr früh kund gab, zu seinem Mitarbeiter machen zu können.

Georg Stephenson war 1812 als technischer Leiter des Maschinenwesens der Killingworther Kohlengruben angestellt worden. Hier waren schon längere Zeit, wie auch anderwärts, Schienenwege in Gebrauch, und Stephenson übernahm eine Lokomotive zu bauen, welche die Kohlenwagen von den Gruben bis zum Verschiffungsplatze an dem Ufer des Tyne befördern sollte.

Diese Lokomotive, welche im Juli 1814 aus der Stephensonschen Werkstatt zu Newcastle hervorging, hatte noch eine große Verwandtschaft mit einer Maschine, welche Blacket in Gemeinschaft mit Haddley konstruiert hatte. Bei einer Steigung von 1:450 zog sie eine Last von 30 Tonnen mit einer Geschwindigkeit von 6 km die Stunde.


Fig. 602. Georg Stephenson.
Nach einem Kupferstiche von Alfred Krauße in Leipzig.

Zur Vergrößerung der Reibung hatte man ihr ein ziemlich beträchtliches Gewicht gegeben, außerdem waren die vier Räder durch eine Kette ohne Ende zu einem Ganzen verbunden. Der Feuerraum durchzog als ein Rohr den Kessel und setzte sich in die Esse fort. In derselben Abbildung sehen wir auch die eigentümliche Art der Auflagerung des Dampfkessels auf den Achsen mittels sogenannter Dampffedern; der Kessel ruhte nämlich auf sechs kleinen Kolben, welche durch den Druck des Wassers und des Dampfes in die mit Luft zum Teil angefüllten kleinen Cylinder hinabgepreßt wurden, eine Auflagerung, die sich aber nicht bewährte und welche Stephenson später von selbst wieder fallen ließ.

Die Kolbenstangen, welche sich in den Cylindern HH auf und ab bewegen, trugen horizontale Querbalken, deren Enden, über den Kurbeln stehend, mit diesen letzteren durch Kolbenstangen verbunden waren. In unsrer Abbildung sind diese Teile nicht angegeben; sie werden in der folgenden Fig. 604 besser zu erkennen sein, welche uns die von Stephenson für die Stockton-Darlington-Eisenbahn gebaute Lokomotive zeigt, wie sie jetzt noch auf der Station Darlington im Originale aufbewahrt wird.

Für die Beseitigung der Übelstände, welche bei der Lokomotive von 1814 hervortraten, und für welche ihr Erbauer ein sehr unbefangenes Auge besaß, lagen die Hindernisse in manchen Umständen, deren man nicht so ohne weiteres Herr werden konnte.

Die Lokomotive sollte und mußte eine gewisse Schwere haben, um die ihr zugemutete Zugkraft ausüben zu können; die Schienen aber, auf denen sie laufen sollte, ertrugen dieses Gewicht nicht, ohne in Gefahr des Brechens zu kommen, war doch damals das Gewicht des laufenden Meters nicht mehr als 12—15 kg, während dieselbe Länge heute 35 kg wiegt. Bei den Bahnen, um welche es sich zunächst handelte, Kohlenbahnen, konnte von

einer Verteuerung, wie sie die Auswechselung der alten Schienen gegen neue im Gefolge haben mußte, nicht die Rede sein, wenn nicht dem Urteil über die Lokomotive selbst der empfindlichste Schaden beigebracht werden sollte. Stephenson suchte also zunächst die Vermehrung der Adhäsion ohne Vergrößerung des Eigengewichts der Maschine dadurch herbeizuführen, daß er die Verkuppelung der Räder durch eine Kette ohne Ende aufgab und dafür mittels einer festen Stange die Räder kuppelte. Als aber zwischen Stockton und Darlington eine Eisenbahn gebaut werden sollte, welche nicht nur für den Kohlentransport, sondern für die allgemeine Beförderung von Frachtgütern auf dieser Strecke dienen sollte, die erste Eisenbahn in dem Sinne, welchen das Wort in der heutigen Verkehrssprache hat, da berücksichtigte er diese Umstände wohl.

Diese Eisenbahn kam vornehmlich auf Betrieb von Edward Pease, einem Aktionär der Killingworther Kohlenwerke, zur Ausführung, der als solcher die Tüchtigkeit Stephensons kennen gelernt hatte und in ihm den richtigen Mann zur Realisierung seiner Pläne sah. Er gewann Stephenson, der mittlerweile in Gemeinschaft mit dem Ingenieur Dodd an der Vervollkommnung der Lokomotive weiter gearbeitet hatte, zur Übernahme des Baues dieser 61 km langen Linie. Von den Zeitgenossen wurde der Plan geradezu für einen Unsinn ausgegeben, weil die Bahn zum Teil durch Moräste führte, deren Bewältigung man für unmöglich hielt. Stephenson aber ließ sich nicht beirren, er baute nicht nur die Bahn, sondern stattete sie allmählich auch mit Maschinen aus, die fast allein sein eigenstes Werk waren.

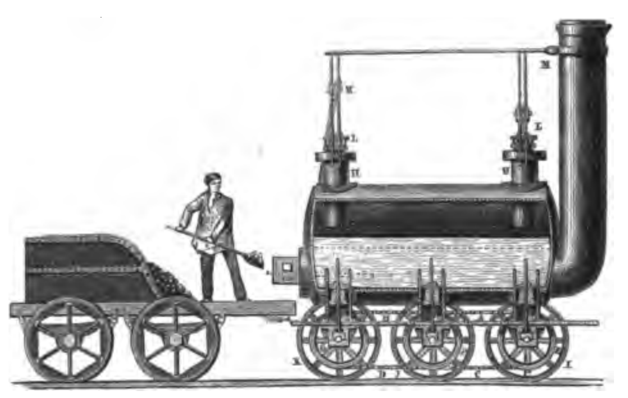


Fig. 608. Georg Stephensons Lokomotive von 1814.

Anfänglich zwar war für die Beförderung der Lasten die Zugkraft der Pferde in Aussicht genommen worden, kleinere Lastzüge wurden in der Folge auch wirklich von Pferden gezogen. Die geringe Geschwindigkeit jedoch, die sich damit nur erreichen ließ und die für den zu erwartenden lebhaften Betrieb nicht genügte, besonders aber auch Stephensons Drängen bewirkten, daß sehr bald davon wieder abgegangen und die Einführung der Lokomotive als Zugmittel beschlossen wurde. In Verbindung mit Pease, Richardson und Longridge gründete Stephenson zu Newcastle eine Maschinenanstalt, die sich ausschließlich mit dem Bau von Lokomotiven beschäftigen sollte und die 1824 eröffnet wurde; unter der Firma Robert Stephenson & Comp. wurde sie bald weltberühmt. Drei Jahre vorher (1821) war der Bau der Bahn begonnen worden, im September 1825 wurde Stockton-Darlington eröffnet, zuerst nur mit drei Lokomotiven für die großen Lastzüge, da, wie gesagt, im Anfange noch Pferde verwendet wurden. Als aber die Stephenson-Doddsche Maschine sich so glücklich bewährte, entschloß man sich, alle Züge durch Dampfwagen befördern zu lassen; damit war also die erste eigentliche Lokomotiveisenbahn eine geschichtliche Thatsache geworden.

Es darf nicht wunder nehmen, daß die Einrichtungen bei diesem ersten Unternehmen in mancher Hinsicht noch recht unvollkommen waren, und daß die eminenten Vorteile, welche der große Verkehr allmählich aus dem Eisenbahnwesen ziehen lernte, zur Zeit kaum erst in schwachen Andeutungen sich bemerklich machten, keineswegs aber schon erreicht wurden. Trotzdem waren die Erfahrungen, welche man machte, hinlänglich ermunternd, um bald darauf für eine ungleich wichtigere Strecke, für die zwischen Liverpool und Manchester, eine Eisenbahn zu projektieren, bei der man denn auch sehr bald für die Lokomotive als Beförderungsmittel sich entschied.

Der enorme Verkehr zwischen den genannten beiden Städten war in den Händen von drei Kanalgesellschaften, deren erste der Herzog von Bridgewater gegründet hatte. Das

Monopol, welches den Besitzern der Wasserstraßen zustand, weil für die Herstellung neuer Kanäle das vorhandene Wasser nicht zureichte, hatte nicht nur bereits zu ganz extravaganten Tarifen geführt, sondern auch zu einer Nichtachtung der Interessen des Publikums, welche immer die Folge des Privilegs zu sein pflegt. Ende der zwanziger Jahre waren die Übelstände durch die wachsende Produktion endlich ganz unleidlich geworden. Es wurden Meetings gehalten, um zu beraten, auf welche Weise man aus dieser beklemmenden Situation herauskommen könne, und am 20. Mai 1826 beschloß eine Versammlung namhafter Persönlichkeiten zu Liverpool, eine Kompanie zum Bau einer Eisenbahn zwischen Liverpool und Manchester zu gründen. Trotz der feindseligen Operationen der Kanalgesellschaften gegen die Ausführung dieses Unternehmens erhielt dasselbe gegen Ende des Jahres 1828 doch die Autorisation des Parlaments. Es war zwar die erste Idee der Gründer der neuen Eisenbahn, dieselbe nur für den Transport von Gütern einzurichten, die Beförderung der Reisenden war noch den Pferdefuhrwerken vorbehalten.

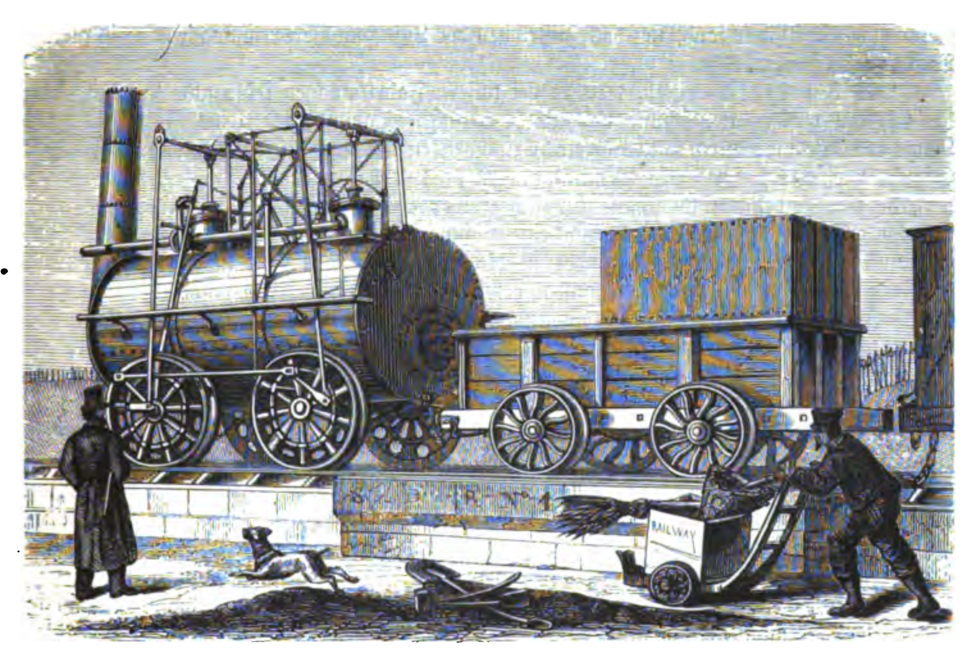


Fig. 604. Stephensons Lokomotive für die Stockton-Darlington-Bahn.

Als aber im Jahre 1829 die Frage nach der zweckmäßigsten Zugkraft dahin entschieden war, daß bei der Massenhaftigkeit der zu befördernden Güter an die Benutzung von Pferden gar nicht gedacht werden könne, nahm man den Vorschlag Georg Stephensons, welcher gleich anfangs als Ingenieur der Kompanie angestellt worden war, an und beschloß durch ein Preisausschreiben aus einer Konkurrenz von Lokomotiven diejenige, welche die gestellten Anforderungen am vollkommensten erfüllen würde, herauszuwählen und den Betrieb mit ihr zu versehen.

Diese Anforderungen waren aber folgende:

Die Maschine (zu sechs Rädern) solle nicht mehr als 6 Tonnen Gewicht haben; sie müsse auf horizontaler Bahn mit einer Geschwindigkeit von 16 km per Stunde eine Last von 20 Tonnen einschließlich ihres Wasser- und Kohlenbedarfs ziehen. Wenn die Maschine nur 5 Tonnen wöge, brauche sie nur 15 Tonnen zu ziehen. Für eine Maschine von vier Rädern könne das Eigengewicht auf $4^1/_2$ Tonnen heruntergehen. Endlich dürfe der Preis der Lokomotive 550 Pfd. Sterl. (11000 Mark) nicht übersteigen.

Daß für eine Linie wie die Liverpool-Manchester war, welche den Kampf mit den alle ihre gewaltigen Hilfsmittel anstrengenden Kanalgesellschaften bestehen sollte, die auf der Stockton-Darlington-Bahn brauchbaren Maschinen nicht genügend waren, lag auf der Hand.

Vor allen Dingen war es deren geringe Zugkraft und die sehr mäßige Fahrgeschwindigkeit, welche einer Steigerung bedurften. Die geringe Kraftleistung hing aber mit der beschränkten Dampferzeugung ganz direkt zusammen. Wollte man daher größere Kraft, größere Geschwindigkeit, so mußte notwendigerweise daraufhin gearbeitet werden, eine reichlichere Dampfentwickelung zu ermöglichen. Es war schon sehr richtig erkannt worden, daß zu diesem Behufe die Heizfläche des Kessels vergrößert werden müsse, und Georg Stephenson hatte ja deswegen schon sein Feuerrohr durch den Kessel hindurchgeführt; der französische Ingenieur Marc Seguin hatte dann den Gedanken in genialer Weise ausgebildet, indem er (1827) statt eines einzigen starken Rohres eine große Anzahl von Feuerröhren (nicht Siederöhren) den Kesselraum durchziehen ließ, welche dem entsprechend von geringen Durchmessern waren, allein der Erfolg hing noch von der Erfüllung einer weiteren Vorbedingung ab, welche erst Stephenson bei seiner Preislokomotive löste. Entsprechend mit der Vergrößerung der Heizfläche mußte nämlich, wenn die Dampferzeugung im gleichen Verhältnis wachsen sollte, eine um so größere Menge Kohlen verbrannt werden, was sich nur ermöglichen ließ, wenn man ein Mittel fand, um das Zuströmen der Luft zum Verbrennungsraume in gleicher Weise zu verstärken.

Von dem Aushilfsmittel, welches bei unsern Fabrikanlagen seine gute Wirkung thut, die Esse zu verlängern, konnte bei den beweglichen Dampfwagen keine Rede sein. Die Länge der Esse war durch mehr als einen zwingenden Umstand auf ein Minimum beschränkt. Seguin versuchte daher einen Ventilator, den er unterhalb der Feuerstätte placierte; aber derselbe war unbequem und hatte für sich wieder eine ganze Reihe von Übelständen im Gefolge. Da fand Georg Stephenson eine Lösung auf andre Weise, indem er den hochgespannten Dampf aus dem Cylinder in die Esse entweichen ließ und dadurch eine so eminente Bewegung der Luft nach außen bewirkte, daß das Nachströmen frischer Luft durch den Rost der Feuerung mehr als genügenden Sauerstoff für die Verbrennung lieferte.

War auch das Prinzip, auf welchem das sogenannte Dampfblaserohr beruht, also kein vorher unbekanntes, und hatten gleichzeitig andre (wie z. B. Hackworth) derselben Idee ihre Aufmerksamkeit geschenkt, so bleibt es nichtsdestoweniger das große Verdienst Stephensons, diese ausschlaggebende Verbesserung mit einem Schlage zu einem organischen Bestandteile der Lokomotive gemacht zu haben.

Jetzt erst war der Kessel in den Stand gesetzt, seine volle Wirkung auszuüben, und die Eisenbahn, welche von Liverpool nach Manchester gebaut wurde, bezeichnet den Anfang der neuen Epoche und damit den großartigsten Abschnitt in der Geschichte des Weltverkehrs. Denn hier wurde die erste nach den neuen Prinzipien gebaute Lokomotive in Betrieb gesetzt, und durch den Erfolg, den sie errang, machte sie sich sofort zum Modell, nach dem zunächst alle weiteren Maschinen konstruiert wurden. Die Lokomotive, an welcher Stephenson diese epochemachende Einrichtung zuerst anbrachte, war die „Rakete“, mit der er bei der von der Liverpool-Manchester-Eisenbahngesellschaft ausgeschriebenen Konkurrenz erschien.

Zu dem Wettkampf waren am 6. Oktober 1829 folgende fünf Lokomotiven angemeldet: „Rakete“ (the Rocket) von den beiden Stephenson (Vater und Sohn), „Sanspareil“ von Hackworth, „Novelty“ von Braithwaite und Ericsson, „Perseverance“ von Burstall und „Cyklop“. Als Preisrichter fungierten Rastrick von Stourbridge, Kennedy von Manchester und Nikolaus Wood von Killingworth. Die Probefahrten selbst fanden auf der Ebene von Rainhill statt, welche auf $3{,}_{218}$ km eine vollkommen horizontale Bahn bietet. Die Probefahrten dauerten mehrere Tage.

Die „Rakete“ hatte nach dem Programm vier Räder und wog $4{,}_{3}$ Tonnen. Ihr Kessel, von $1{,}_{73}$ m Länge, hatte 25 durch denselben gehende kupferne Feuerrohre von 7 cm Durchmesser. Der Dampf trat aus dem Cylinder in die Esse. Fig. 605 stellt die Stephensonsche Maschine dar. MN ist der Feuerraum, der eine Höhe von 1 m und eine Breite von 70 cm hatte. Der Kessel bildete den Hauptteil des Körpers der Maschine, HH sind seine Sicherheitsventile. Der Dampfcylinder A ist gegen die Treibachse so geneigt, daß die Kurbel B durch die Kolbenstange in Umdrehung versetzt werden kann. Die Kohlen befanden sich auf dem Tender E, welcher auch ein Wasserreservoir C mitführte.

Die zweite Maschine „Sanspareil“ war eigentlich durch ihr zu großes Gewicht von dem Konkurs ausgeschlossen; man ließ sie indessen doch an den Fahrten mit teilnehmen,

um eventuell, wenn sie besondere Vorzüge zeigen sollte, auf sie zurückzukommen; allein sie erwies sich sehr bald als weit hinter der „Rakete" zurückstehend. Die „Novelty" hatte nicht zur richtigen Zeit fertig gestellt werden können, und es mußten die Versuche mit ihr einige Tage später vorgenommen werden. Sie hatte übrigens die Eigentümlichkeit, daß sie ohne Tender war, indem sie Wasser und Kohlen auf dem Dampfwagen selbst mitführte. Im Laufe der Probefahrten, bei denen die „Novelty" eine Geschwindigkeit von 7 bis im Maximum 13 km in der Stunde entwickelte, wurde aber der Kessel schadhaft, und die Maschine mußte zurückgezogen werden. Ebenso wurde die „Perseverance" zurückgezogen, weil sie auf dem Transport Unfall erlitten hatte, und die letzte, der „Cyklop", entsprach den Anforderungen auch nicht. Keine von diesen konnte der „Rakete" den Sieg streitig machen, denn die letztere übertraf die gestellten Anforderungen durch ihre Leistungen bedeutend, indem sie bei einer Geschwindigkeit von 22,5 km pro Stunde eine Last von 13 000 kg auf ebenem Terrain bewegte.

Mit der durch diesen Sieg konstatierten Leistungsfähigkeit gab sie sofort dem ganzen Unternehmen der Liverpool-Manchester-Eisenbahn einen andern Charakter. Hatte man früher auf dieser Bahn nur den Warentransport im Auge gehabt, so faßte man jetzt ohne weiteres den Entschluß, auch Reisende zu befördern. Probefahrten mit einigen dreißig oder vierzig Personen waren auf dem Felde von Rainhill bereits gemacht worden, und obwohl die neue Beförderungsweise in der ersten Zeit infolge der Konkurrenz, welche die Kanalgesellschaften jetzt, mit Aufgabe aller ihrer bisher genossenen Vorteile, eröffneten, nicht einen für die Aktionäre unmittelbar sehr glänzenden Ertrag gewährte, so war die Zukunft dem Eisenbahnwesen doch auf alle Fälle gewonnen, und ebenso war die Lokomotive als der einzige mögliche Motor bewiesen.

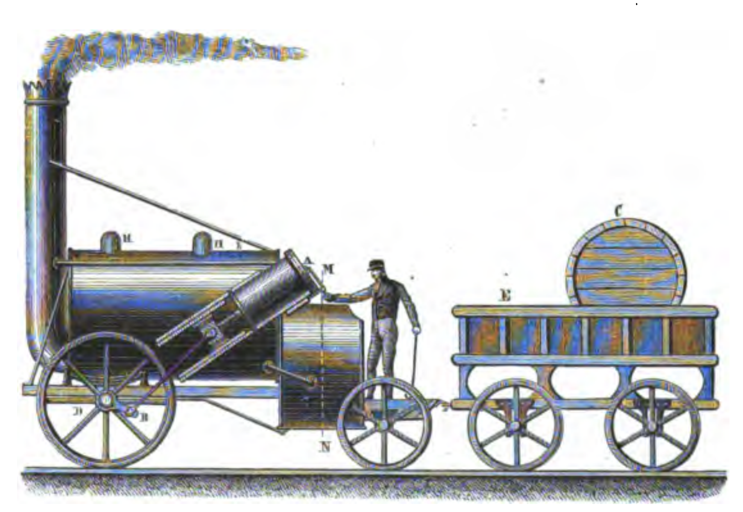


Fig. 605. Stephensons Preislokomotive die „Rakete".

Man erkannte jetzt und die englische „Quaterly Review" erklärte es entschieden, daß von allen Verwendungen, welche die Dampfkraft bisher gefunden, die Lokomotive die wichtigste sei, indem sie jene Leichtigkeit des Verkehrs zwischen den entferntesten Teilen eines Landes ermöglicht, welche von allen Fortschritten am meisten zu seinem Gedeihen beiträgt, ihm erhöhte Festigkeit und Einheit des Handelns verleiht.

Auf Grund ihres Sieges wurde der Maschinenbauanstalt der beiden Stephenson, Vater und Sohn, der Bau sämtlicher Lokomotiven der Liverpool-Manchesterbahn übertragen. Eine Verlängerung des Kessels und eine Vermehrung des Gesamtgewichts war nun der nächste Fortschritt, der gemacht wurde. Damit wurde es aber notwendig, von den bisherigen schwachen Schienen jetzt ganz entschieden abzugehen und stärkere anzuwenden.

Die Cylinder der „Rakete" lagen, wie aus der Abbildung erhellt, oberhalb der Radachsen und waren gegen diese geneigt. Man kam aber bald darauf, sie horizontal und tiefer, zwischen die Räder zu legen, schon aus dem Grunde, weil durch ein solches Arrangement der Schwerpunkt des Ganzen mehr nach unten gerückt wurde und die Lokomotive somit eine größere Stabilität erhielt. Mit dieser Einrichtung war jedoch ein Übelstand verbunden, der bei dem damaligen Stande der Eisentechnik schwer ins Gewicht fiel. Die Treibachse mußte nämlich doppelt gekröpft werden, und da damals die Herstellung solcher Achsen Schwierigkeiten bot, so zogen es manche Konstrukteure vor, die Cylinder, wie schon

Hackworth 1825 gethan hatte, wieder auswärts anzubringen. Heutzutage sind selbstverständlich derartige Umstände keine Schwierigkeiten mehr.

Wie wir bald sehen werden, wenn wir uns mit der Einrichtung der Lokomotive näher bekannt machen, war das Wesen dieser Maschine durch die beiden Stephenson, welche gemeinschaftlich die „Rakete“ ersonnen hatten, in seinen Grundprinzipien vollständig erschöpft. Das Prinzip, nach dem Lokomotiven gebaut werden, ist denn auch bis heute dasselbe geblieben, welches die beiden genialen Ingenieure aufgestellt haben; die Abänderungen, welche naturgemäß nicht vorweg ausgeschlossen sein konnten, beziehen sich auf Einzelheiten des Arrangements, der Steuerung und der Ausnutzung der Expansion des Dampfes u. s. w. und sind in diesen Punkten von den Vervollkommnungen abhängig gewesen, die der Dampfmaschine noch zu teil geworden sind. Solcher Art sind die Verbesserungen, welche Clapeiron in Frankreich auf der Bahn von Paris nach St. Germain mit seiner Expansionsmaschine und Robert Stephenson mit der sogenannten Kulissensteuerung eingeführt hat. Oder aber es sind Einrichtungen für spezielle Fälle, Eilzugslokomotiven und Lastzugslokomotiven, oder für besondere Bodenverhältnisse, wie solche namentlich bei den von englischen Terrainverhältnissen ganz verschiedenen kontinentalen Eisenbahnlinien vorkamen. Als man sich getraute, Wasserscheiden mit den Eisenbahnen zu übersteigen und die Linien durch enge Thäler in scharfen Kurven führen mußte, traten die Lokomotivenbauer vor eine neue Aufgabe.

In England machten sich derartige Bedürfnisse nicht sobald bemerklich als anderwärts. Um sich in bezug auf Steigung und Krümmung der Bahnlinie mehr Freiheit zu verschaffen, bauten Balduin und Norris in Philadelphia bereits 1833 Lokomotiven, deren Vorderteil beweglich war und das Befahren scharfer Kurven gestattete. Bei uns war es vorzüglich die Bahn über den Semmering (1850), welche die erste großartige Gebirgsübersteigung zur Thatsache machte, und für die allerdings ganz besonders kräftige Zugmaschinen zu beschaffen waren. Den Preis, der hier für die beste Gebirgslokomotive ausgesetzt wurde, welche auf Steigungen von 1 zu 40 und in scharfen Kurven eine angehängte Last von 2500 Zentner mit einer Geschwindigkeit von 12 km in der Stunde ziehen sollte, erhielt die von der Maffeischen Maschinenbauanstalt in München gelieferte Lokomotive „Bavaria“.

Seitdem haben auch auf diesem Gebiete neue Erfindungen sich Eingang verschafft. Es leuchtet ein, daß für stark geneigte Gebirgsbahnen die Adhäsion der gewöhnlichen Lokomotiven, welche für horizontale Bahnen genügt, nicht mehr hinreichend sein wird, um der Maschine die verlangte Zugkraft zu geben. Die Gebirgslokomotiven sind aus diesem Grunde schon sehr viel schwerer als die für flaches Terrain. Man hat nun, weil die Belastung des Dampfwagens als tote Masse kostspielig zu befördern ist, versucht, durch andre Mittel die Reibung zwischen Lokomotive und Bahn zu vermehren. Die schon für die Semmeringbahn von Krauß in Hannover vorgeschlagene Einrichtung, nach welcher zwischen die beiden Schienen des Gleises eine dritte Schiene etwas erhöht gelegt werden sollte, gegen welche von beiden Seiten Friktionsräder angepreßt wurden, ist später von Fell für die Interimsbahn für den Mont Cenis mit Erfolg benutzt worden. Für die noch steiler ansteigenden Bahnen, wie sie in den letzten Jahren Mode geworden sind, um bequeme Touristen auf hochgelegene Aussichtspunkte der Schweiz und anderswo zu transportieren, hat man in der Mitte eine Zahnstange angebracht, an welcher sich die Lokomotive mittels eines eingreifenden Zahnrades emporhaspelt. Wir werden später eine dieser eigentümlichen Formen kennen lernen; vor der Hand wenden wir uns zu einer kurzen Betrachtung der

Einrichtung der Lokomotive. Als Hauptbestandteile der Lokomotive haben wir naturgemäß die folgenden zu unterscheiden: 1) den Dampfkessel, welcher seiner Einrichtung nach zusammen mit dem Feuerraume betrachtet werden muß; 2) die Dampfleitung aus dem Kessel in die Cylinder; 3) die Cylinder selbst mit Kolben und Treibstangen; 4) die Steuerung; 5) den Abzugskanal für die Verbrennungsgase; 6) die Treibräder und 7) den Tender, das Kohlen- und Wassermagazin mit der Speisepumpe. Sie kehren bei allen Lokomotiven wieder, von welcher Konstruktion dieselben auch immer sein mögen, und wir dürfen uns der Abbildung Fig. 606 als Schema bedienen, um die Art und Weise der Anordnung kennen zu lernen. In unsrer Figur ist nun A der Feuerkasten, durch dessen Thür a der Heizer das Brennmaterial einschüttet. Die Wände dieses Feuerraumes sind doppelt von starkem Eisenblech und mit einem schlechten Wärmeleiter, Asche oder dergleichen, ausgefüllt; unten befindet

sich der Rost; B ist der Kessel, von cylindrischer Form und der Länge nach von Heizröhren durchzogen, deren der Deutlichkeit wegen in der Abbildung nur vier verzeichnet sind, obwohl ihre Zahl in den neueren Lokomotiven bis auf 150 steigt; sie führen die Feuerluft in den Rauchkasten D, aus dem sie dann in den Schornstein entweicht. Im oberen Teile des Kessels sammelt sich der Dampf, in gleicher Weise erfüllt derselbe den Dampfdom C, sowie er auch in die beiden Ventilräume H und L dringt. Das letztgenannte Ventil ist das Sicherheitsventil, das Ventil H dagegen ist dem Maschinisten mittels des Hebels N P zugänglich und seine Belastung kann je nach Umständen vermehrt oder vermindert werden, während das Sicherheitsventil ein für allemal unzugänglich ist. Die vierte Öffnung, welche wir am Kessel sehen, ist das Mannloch C, durch welches eingestiegen wird, wenn das Innere gereinigt oder repariert werden soll; l ist die Dampfpfeife.

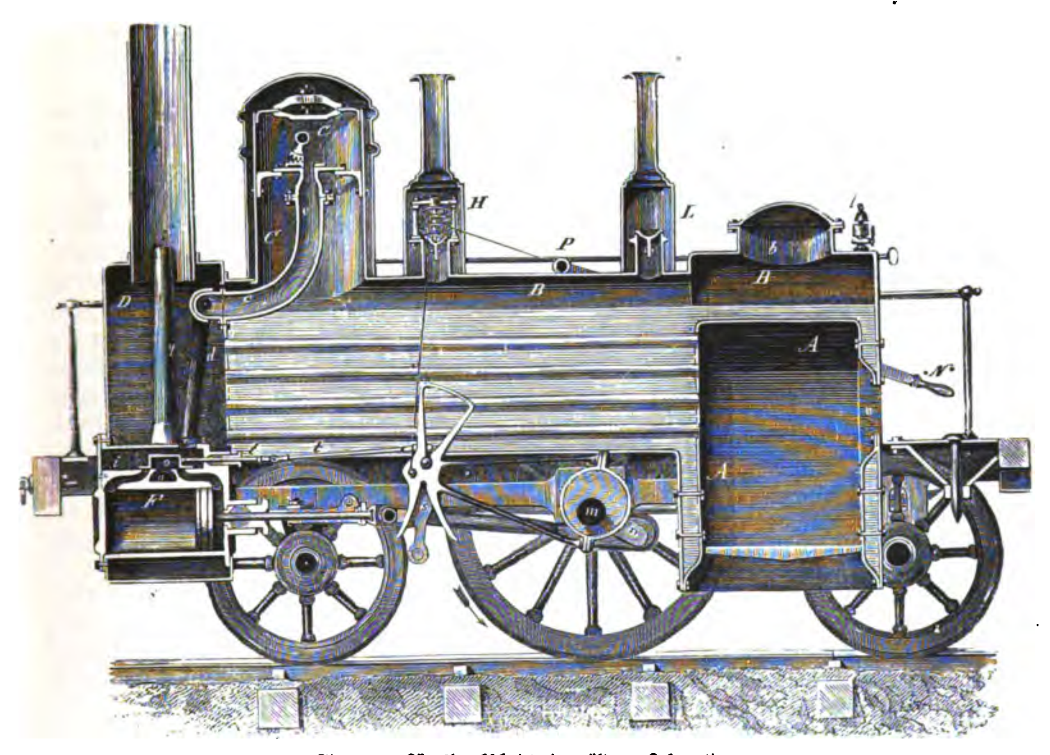


Fig. 606. Längsdurchschnitt einer älteren Lokomotive.

In den Dampfdom C ragt nun von außenher das Dampfrohr c, welches sich vor dem Kessel in zwei Zweige d gabelt, deren je einer zu einem der beiden Cylinder F führt. Das Dampfrohr mündet um deswillen an einer so hohen Stelle des Domes ein, damit möglichst wenig mechanisch mit fortgerissene Wasserteile durch dasselbe in die Cylinder gelangen; es ist mit einem Regulator versehen, welcher vom Maschinisten mittels eines Hebels von außen geöffnet und geschlossen werden kann. Der Dampf wird aus den Zweigrohren dd nicht direkt in die Cylinder, sondern zunächst in die Dampfkammern oder Schieberkasten ii geleitet, deren Einrichtung uns von früherher aus der Beschreibung der Dampfmaschine bekannt ist. Der Schieber selbst ist durch die Teile n und o angegeben und wird mittels der Schieberstange ff durch das an der Bleuelstange hängende Exzentrik in Bewegung gesetzt. An der Welle m sitzen die Treibräder, die andern beiden Achsen tragen nur Laufräder. Ist nun die Wirksamkeit des Dampfes in den Kolben vorüber, so tritt jener durch das Rohr q immerhin noch mit sehr großer Gewalt in die Dampfesse und bewirkt darin eine sehr lebhafte Luftbewegung nach außen, welche ein ebenso lebhaftes Zuströmen frischer Luft durch den Rost zu dem Verbrennungsherde nach sich zieht, dies ist das sogenannte Dampfblaserohr.

Denken wir uns eine Lokomotive durch einen senkrechten Querschnitt vorn an geeigneter Stelle durchschnitten, so erhalten wir ein Bild, wie es ungefähr durch die Abbildung Fig. 607 dargestellt wird, während Fig. 608 nur eine Ansicht der Lokomotive von hinten gibt. In jener Durchschnittszeichnung sehen wir die beiden Zweige des Dampfrohrs u und u', welche den Dampf in die Cylinder leiten; v und v' dagegen sind die aus dem Schieberkasten führenden Abzugsrohre, welche sich dem senkrechten Dampfblaserohr V, das in die Esse mündet, vereinigen. In der Rückenansicht Fig. 608 endlich bedeutet C den Aschenraum, B die drei Probehähne, welche dem Maschinisten dazu dienen, um sich von der Höhe des Wasserstandes im Kessel zu überzeugen. A ist das Manometer, S das Sicherheitsventil und D ist der Griff einer Zugstange, durch welche man mittels des Hebelwerkes E augenblicklich den Rost vom Brennmaterial leeren kann, indem derselbe nach unten geklappt wird.

Das sind die wichtigsten Mechanismen, deren Regulierung dem Maschinisten bequem zur Hand liegen muß. Dazu kommt noch ein Hebel G, um den Dampf rückwärts wirken zu lassen, oder vielmehr, um die Bewegungsrichtung der Lokomotive zu ändern. Es wird dies möglich mit Hilfe der von Stephenson erfundenen Kulissensteuerung.

Aus der Wirksamkeit leuchtet die ungemeine Wichtigkeit dieses Mechanismus ein, dessen scharfsinnige Einrichtung durch Folgendes verständlich werden wird: Wie sich uns sofort ergibt, stimmt der Bewegungsmechanismus der Lokomotive vollständig überein mit dem Bewegungsmechanismus einer Dampfmaschine mit liegendem Cylinder, nur daß die Stelle des Schwungrades durch die Treibräder eingenommen wird. Dort wie hier wird die Zuleitung des Dampfes bald vor, bald hinter den Kolben durch ein Exzentrik bewirkt, an welchem die Schieberstange hängt; bei der Lokomotive findet jedoch der Unterschied statt, daß nicht bloß eine Exzentrikscheibe sich auf jeder Seite der Treibräderachse befindet, sondern zwei, dicht nebeneinander, deren Exzentrizitäten einander entgegengesetzt sind, so daß, wenn die eine Scheibe den Dampf vor den Kolben leitet, die andre ihn hinter denselben leiten würde. Wie wir aus der Beschreibung der Dampfmaschine wissen, wird das Exzentrik von einem Ringe umgeben, in welchem sich die Scheibe dreht und an dem die Schieberstange hängt. Von den beiden Exzenterscheiben der Lokomotive ist aber immer nur die eine in dieser Weise in Verbindung mit dem Schieber; mittels des Hebels G kann jedoch sofort die Schieberstange auf das andre Exzenter geschoben und damit bewirkt werden, daß augenblicklich die entgegengesetzte Dampfzuleitung eintritt, die Richtung der Lokomotive sich also in die entgegengesetzte ändert. Eine dritte Scheibe ist noch vorhanden, welche, mit dem Schieber in Verbindung gesetzt, bewirkt, daß die Maschine ganz still steht. Der Hebel G wirkt natürlich so, daß auch für den auf der andern Seite liegenden Cylinder dieselbe Schieberänderung eintritt.

Von außen gesehen, erscheint die Lokomotive mit einem hölzernen, die Wärme schlecht leitenden Mantel umkleidet, der wohl noch, um die Ausstrahlung der Wärme zu vermindern, mit einer Korkschicht gefüttert ist. Ihr sonstiges Aussehen ist, je nach dem speziellen Zwecke, dem sie dient, bisweilen etwas verschieden, in der Hauptsache aber wird davon die innere Einrichtung nicht wesentlich beeinflußt. Die Zahl der Räder ist 4, 6 oder 8, gewöhnlich 6. Ist die Lokomotive für große Geschwindigkeit berechnet, sogenannte Schnellzugsmaschine, so sind die Treibräder von besonders großem Durchmesser; denn da sich die Anzahl der Kolbenstöße in einer gewissen Zeit nicht vermehren läßt, ohne daß man an der Expansionskraft des Dampfes Einbuße erleidet, so ist die Zahl der Radumdrehungen über ein gewisses Maximum nicht zu steigern, und es blieb nur übrig, den Umfang der Treibräder zu vergrößern, als man eine größere Fahrgeschwindigkeit erreichen wollte. Aber auch dies hatte seine Grenze darin, daß der Kessel auf den Achsen der Räder aufliegt und für die Stabilität der Maschine zu weit in die Höhe geschoben wird, wenn die Treibräderachse durch die Vergrößerung dieser Räder über Gebühr vom Boden entfernt wird.

An dieser Grenze war man bereits 1848 angekommen, und die höchste Fahrgeschwindigkeit der Lokomotive schien erreicht, als der englische Ingenieur Crampton den glücklichen Gedanken hatte, die Achse der Treibräder nicht mehr unter, sondern hinter den Kessel zu legen. Von da ab war man in der Vergrößerung dieser Räder nicht mehr beschränkt, und es werden jetzt in England Crampton-Lokomotiven mit einem Raddurchmesser von $2{,}_{60}$ m gebaut. Die erste Bahn, welche sich diese bedeutende Neuerung zu nutze machte, war die französische Nordbahn; sie steigerte damit ihre Fahrgeschwindigkeit bis auf 80 km die Stunde,

und selbst 100 km waren damit zu erreichen. Die Einrichtung der „Expreßzüge“, welche für die großen Weltverkehrslinien von enormer Bedeutung geworden sind, datiert seit der Erfindung Cramptons, die nach ihrer glänzenden Erprobung überall eingeführt wurde.

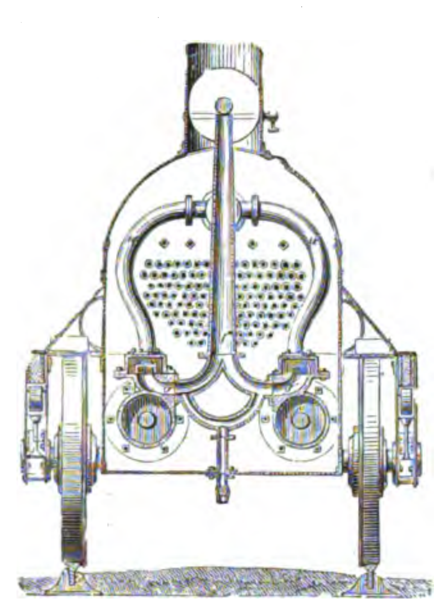



Fig. 607. Vorderer Querdurchschnitt einer Lokomotive.

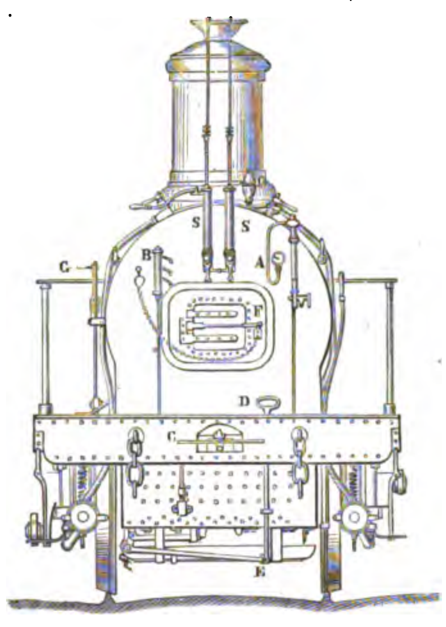


Fig. 608. Lokomotive von der Rückseite.

Neben der Cramptonschen Lokomotive müssen wir mit einigen Worten noch die von dem österreichischen Ingenieur Engerth erwähnen, welcher zwar nicht auf Vermehrung der Geschwindigkeit, wohl aber auf Vermehrung der Zugkraft bei seiner Erfindung ausging, zu der er namentlich durch die Anforderungen, welche die Steigungen der Semmeringbahn an die Beförderungsmittel für Lastzüge machte, gedrängt wurde. Das Engerthsche System besteht darin, daß der Tender mit seiner Last in den Körper der Lokomotive mit hineingezogen wird, indem man einen Teil des Kessels auf dem Tender auflagern und von dessen erster Achse mit tragen läßt; die Kuppelung der Räder besorgt das übrige.

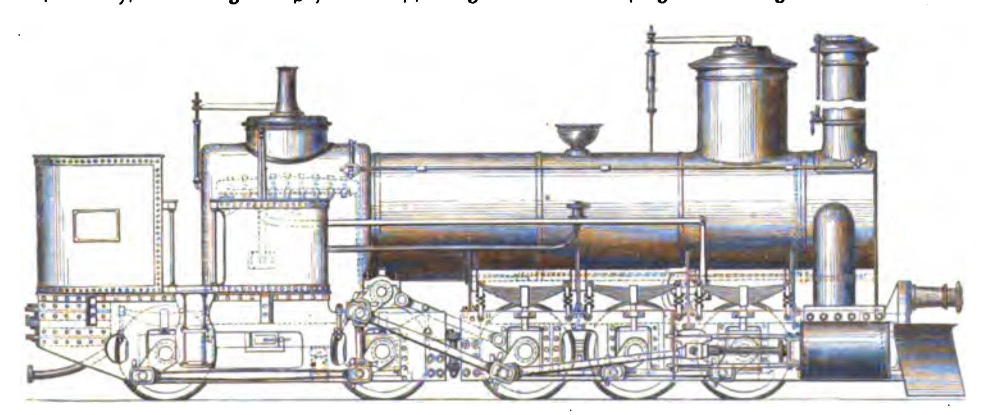


Fig. 609. Lokomotive nach Finks System.

In ähnlicher Weise wird durch die Kuppelung mehrerer Treibachsen neuerdings auch der schon oben (Seite 574) angedeutete Zweck, starke Kurven sicher zu überwinden, erreicht; ein Beispiel hiervon zeigt das auf Anwendung von Zwischenkurbeln beruhende System von Fink (Fig. 609), bei welchem die Betriebskraft durch Lenkstangen übertragen wird, so daß

die damit gekuppelten Treibachsen, mag nun die Maschine auf gerader Bahn oder in einer Kurve fahren, gleichschnell umlaufen können. Die eigentümlichen Verhältnisse bei so steilen Gebirgsbahnen wie der auf den Rigi führenden Bahn erheischen übrigens noch ganz besondere ausnahmsweise Einrichtungen bei deren Lokomotiven.

Die Rigilokomotive (Fig. 610) ist dadurch schon ganz besonders auffällig, daß bei ihr der Kessel nicht horizontal liegt, sondern eine vertikale Stellung hat, um bei der starken Steigung der Bahn die Neigung des Wasserspiegels so gering wie möglich zu machen. In der Mitte zwischen beiden Laufschienen liegt die Zahnstange, in welche das aus Gußstahl verfertigte Zahnrad der Treibachse eingreift; durch eine besondere Einrichtung der Steuerung kann der Zug in jedem Augenblicke und bei jeder Steigung mit voller Sicherheit angehalten werden.

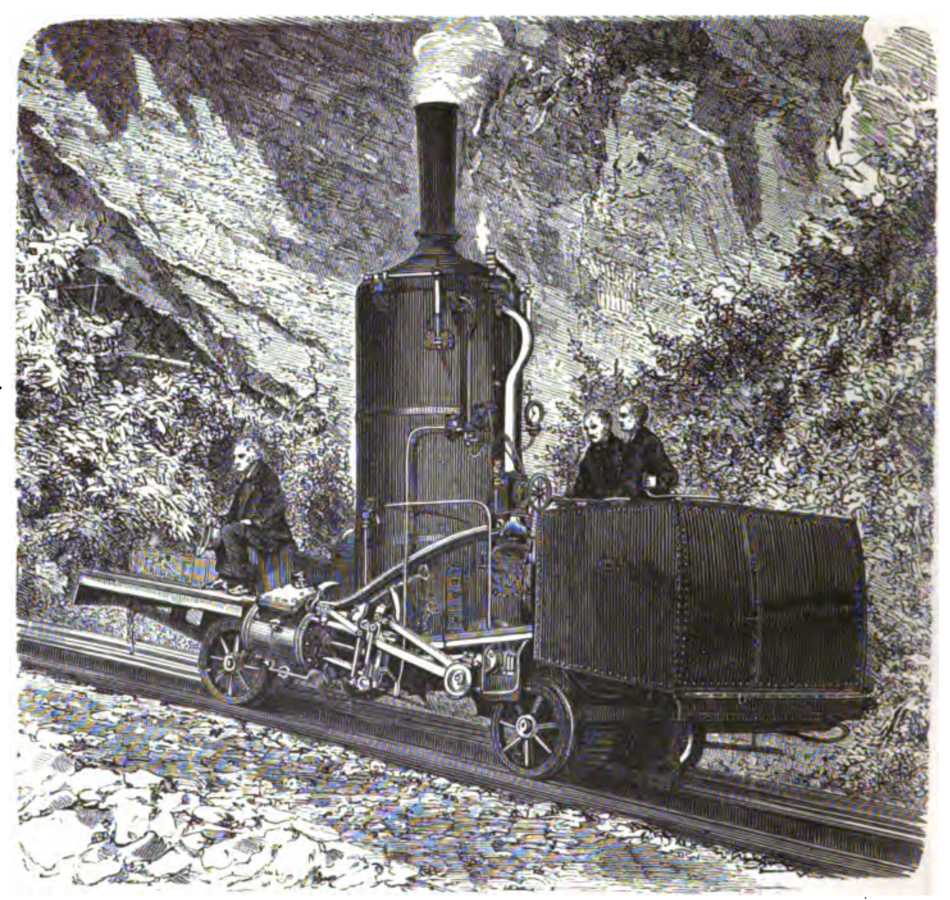


Fig. 610. Die Rigilokomotive.

Ihr Gesamtgewicht beträgt im Betriebszustande nur gegen 240 Zentner, obwohl sie mit 120 Pferdestärken arbeitet. Bei der Fahrt ist sie immer unten am Zuge, der jemalig nur einen oder zwei Personenwagen umfaßt, angebracht, so daß sie denselben bergaufwärts schiebt und bergab hemmt.

Rückblick. Überblicken wir kurz die Veränderungen, welche die Lokomotive in ihrer Ausstattung und in ihren Leistungen durchlaufen hat, so werden wir, obgleich wir in ihr immer noch die Erfindung Stephensons dem Wesen nach vor uns haben, doch auf einige merkwürdige Steigerungen kommen, welche die ungemeine Veränderungsfähigkeit dieser Maschine kennzeichnen. Crampton und Engerth bezeichnen die Endpunkte der beiden Richtungen, nach denen die Vervollkommnung gestrebt hat: Vermehrung der Geschwindigkeit und der Zugkraft; von der vollkommneren Ausführung im einzelnen wollen wir nicht reden.

Die „Rakete“ von Stephenson hatte eine Heizfläche von 11 qm; gegen 1835 hatte man diese Heizfläche auf 40—50 qm vergrößert, 1845 auf 70, 1850 auf 100 oder 130, bis man 1855 dahin kam, der Wirkung des Feuers eine Fläche sogar von 200 qm entgegenzusetzen. In derselben Zwischenzeit von noch nicht 30 Jahren war man mit der Dampfspannung von drei auf zehn Atmosphären hinaufgegangen. Das Gewicht des verdampften Wassers steigerte sich von 450 bis auf 5000, ja auf 8000 kg pro Stunde; dagegen verminderte sich das Gewicht der verbrannten Kohle, welches nötig war, um eine Tonne Last auf gewöhnlicher Bahn zu ziehen, von 450 g auf 30—80 g, je nach der Art der Maschinen und deren Geschwindigkeit. Das Gewicht der Lokomotiven erfuhr, wie uns schon bekannt ist, eine enorme Vermehrung: die „Rakete“ von Stephenson wog nicht mehr als 4 Tonnen; von 1830—35 war das durchschnittliche Gewicht 6—7 Tonnen. Von 1835 ab baute man schon einzelne Lokomotiven zu 12 und 13 Tonnen mit sechs Rädern; 1845 wogen sie 30, 1850 aber 36 Tonnen; die Engerthschen Maschinen, welche 1855 aufkamen, erreichen das kolossale Gewicht von 55—65 Tonnen.

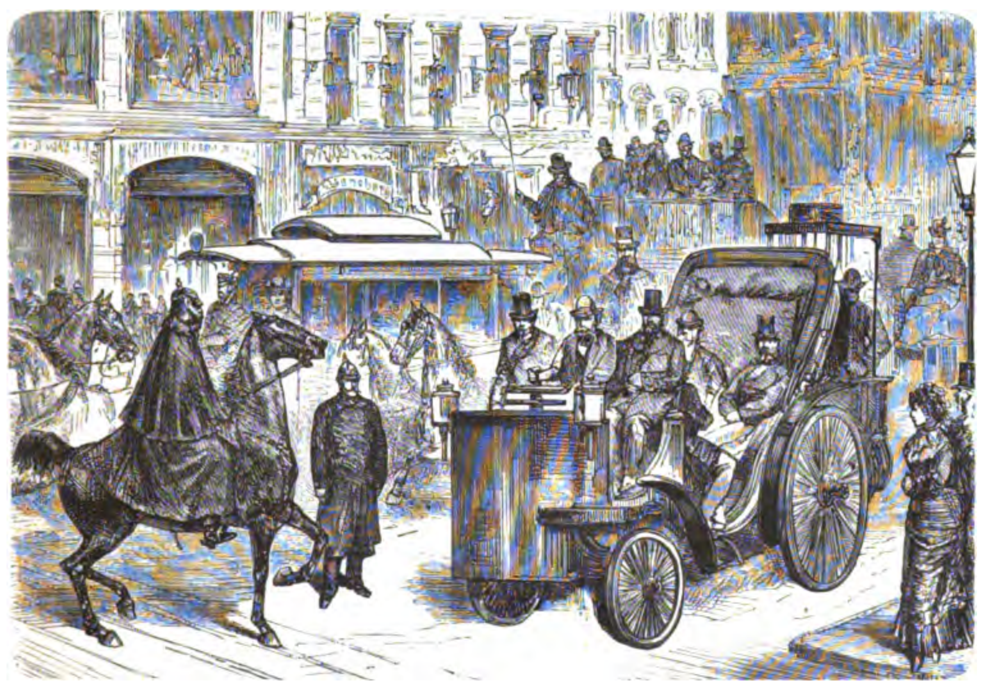


Fig. 611. Bolléesche Dampfdroschke in Berlin.

Die mittels einer Lokomotive gezogene Last auf gewöhnlichen Bahnen hob sich nach und nach von 40 auf 700 Tonnen! Die Geschwindigkeit anlangend, so machte die „Rakete“ 25 km in der Stunde; die „Fire-Fly“ 1834 bereits 43; seitdem hat man mit den Crampton-Maschinen 100 km schon per Stunde durchfahren, doch begnügt man sich in der Regel mit geringerer Fahrgeschwindigkeit, die sogar bei Lastzügen heute noch bis auf 25 km heruntergeht.

Straßenlokomotiven. Die ursprüngliche Idee, den Dampfwagen auf unsern gewöhnlichen Straßen zur Beförderung von Lasten verwendbar zu machen, ist durch die Entwickelung der Eisenbahnen nur zeitweilig in den Hintergrund gedrängt worden. Nachdem hier die Erfahrungen reichere geworden waren, trat jenes verlockende Problem sehr bald wieder in den Vordergrund, und es hat in den letzten Jahrzehnten zu keiner Zeit an Versuchen gefehlt, welche sich mit der Ausführung beschäftigten. Indessen sind die bisher erlangten Resultate nur immer negativer Natur gewesen. „Eisenbahn und Lokomotive sind wie Mann und Weib“ — dies Wort des älteren Stephenson scheint wahr bleiben zu sollen. Unsre Chausseen, abgesehen von den Störungen, welche der übrige Verkehr auf denselben teils von den Lokomotiven erleiden, teils auf den Gang derselben ausüben muß, unsre Straßen würden eine

ganz andre Fundamentierung erfahren müssen, wenn derartige schwere Maschinen und die ebenso schweren Lasten auf verhältnismäßig wenig Achsen darüber regelmäßig bewegt werden sollten. Leichte Lokomotiven dagegen, wenn ihre Konstruktion auch gelänge, scheinen gegen die Pferdekraft keinen wesentlichen Gewinn zu ergeben.

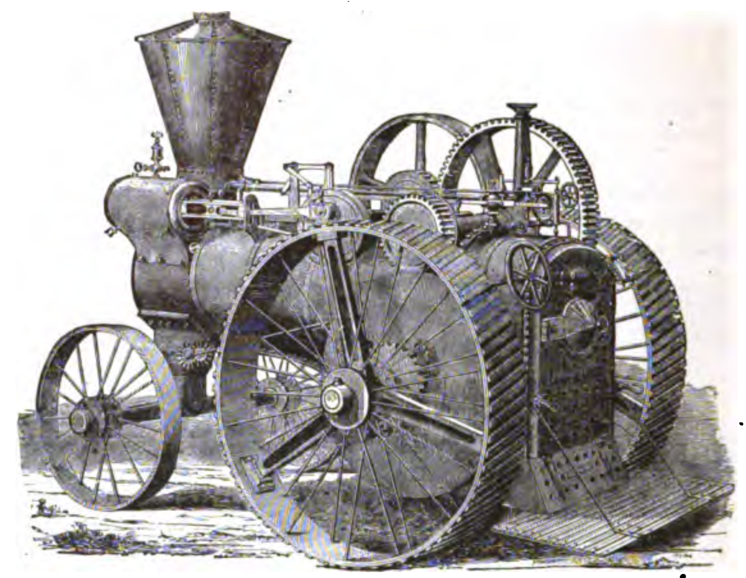


Fig. 612. Ansicht einer Straßenlokomotive neuerer Konstruktion.

Es ist abzuwarten, wie die Praxis sich gegen die Dampfomnibus und Dampfdroschken — eine solche von A. Bollé in Le Mans konstruiert (s. Fig. 611), hat während der letzten Jahre wieder Aufsehen gemacht — in der Zukunft verhalten wird.

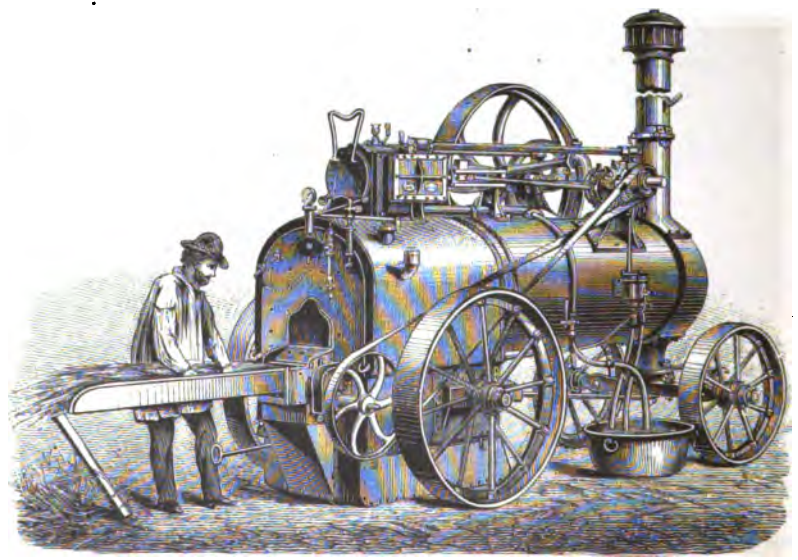


Fig. 613. Die Lokomobile.

Man hat auch für besondere Zwecke, z. B. für den Transport von schweren Maschinen, Geschützen, Lokomotiven u. s. w. aus der Maschinenbauanstalt nach den Bahnhöfen oder zum Hafen, Straßenlokomotiven in Anwendung, und im französischen Kriege dienten solche dazu,

das schwere Geschützmaterial von den Endpunkten der Eisenbahnen nach dem Belagerungsgürtel um Paris zu befördern, aber diese vorübergehenden Verwendungen, bei denen man zum Teil auf die Schonung der Straßen keine Rücksicht zu nehmen brauchte, machen immerhin nur aus der Not eine Tugend, und wir können uns deshalb hier ein Eingehen auf die zahlreichen Konstruktionsverschiedenheiten ersparen.

Die Lokomobile, eigentlich die lokomobile Dampfmaschine, hat mit der Lokomotive nur das gemein, daß bei ihr der Dampferzeugungsapparat, Kessel und Feuerung, mit dem Bewegungsapparate, Cylinder, Kolben, Gestänge und Treibrad, in kompendiöser Form vereinigt sind und mittels darunter befindlicher Räder von einem Ort zum andern bewegt werden können. Die Lokomobilen sind ebenfalls Hochdruckdampfmaschinen; ihre Eigentümlichkeiten, die sie von den festen Dampfmaschinen unterscheiden, beruhen nur in dem Arrangement der einzelnen Teile, welches allerdings durch die Vervollkommnung der Lokomotive und zumeist auch von denselben Ingenieuren, denen wir jene verdanken, seine jetzige Gestalt erhielt. Der Kessel bildet mit dem Essenrohr den eigentlichen Körper der Maschine, auf ihm ist der ganze Bewegungsmechanismus angebracht, der Cylinder auf dem hinteren Teile über der Feuerbüchse, das Spiel der Kolbenstange und der Steuerung geht längs des Kessels oberhalb desselben; das Schwungrad, welches zugleich als Riemenscheibe dient, liegt an der Seite und wird durch eine horizontale Kurbelwelle von der Kolbenstange in Umdrehung versetzt. Ein Zentrifugalregulator sorgt für den regelmäßigen Gang; der Kessel ist ein Röhrenkessel, wie bei der Lokomotive. Diese transportablen Dampfmaschinen sind seit den dreißiger Jahren in Anwendung und dienen der Natur der Sache nach in Fällen, wo die Anlage fester Maschinen nicht thunlich ist; so namentlich bei Bauzwecken, zum Wasserpumpen, auch in der Bodenkultur. Wir werden nämlich in der letztgedachten Beziehung (d. h. bei dem Kapitel der Landwirtschaft) noch Gelegenheit haben, in unserm „Buch der Erfindungen“ auf die praktische Anwendung der Lokomobilen (vgl. den III. Band) zurückzukommen.

Schlußbemerkung. Hier am Schluß unsrer Darstellung über die Dampfmaschine und deren verschiedenartige Verwendung ließe sich vielleicht noch eine Betrachtung darüber anstellen, zu welchen weitergehenden Zwecken, als sie bisher wirklich ins Auge gefaßt sind, das wichtigste Kraftmittel der neuesten Zeit noch benutzt werden könnte, z. B. zur Zerstörung, für Kriegszwecke u. dergl. mehr. Es würde jedoch in unserm „Buch der Erfindungen“, welches innerhalb eines verhältnismäßig engen Rahmens ein Abbild des wirklichen Standes der menschlichen Arbeitsthätigkeit und ihrer Entwickelung wie Förderung durch die verschiedenen Leistungen des Erfindungsgeistes darstellen will, zu weit führen, auf alle möglichen Projekte oder Hypothesen, welche sich mit irgend einer Erfindung in Verbindung bringen lassen, näher einzugehen.

Dagegen wollen wir hier zum Schlusse dieses Bandes unsres Buches noch einmal unsern Blick rückwärts auf die Entwickelung der wichtigsten Erfindung lenken und zu den früheren (namentlich auf Seite 530—535 befindlichen) Angaben einige ergänzende Bemerkungen nachtragen. Vor allem ist zu erwähnen, daß die auf Seite 530 unten von uns angedeuteten Bedenken gegen die Richtigkeit der dem englischen Kapitän Savery zugeschriebenen „Büchervernichtung“ sich in der That bestätigt haben und daß die bezügliche Geschichte durchaus als Fabel angesehen werden muß. Anderseits ist übrigens das dem Kapitän Savery früher irrtümlich zugeeignete und auf Seite 531 (Zeile 12) bemerkte Verfahren, durch welches er mittels Zuleitung eines Stromes kalten Wassers den im Cylinder befindlichen Dampf verdichtet habe, nicht von ihm selbst angewendet worden, da er statt dessen den Cylinder einfach der natürlichen, d. h. allmählichen Abkühlung überließ. Die eigentliche Idee von Savery in seiner Verwendung der Dampfkraft ist übrigens in neuester Zeit insofern wieder aufgenommen, als man sie bei den sogenannten Pulsometern unter Benutzung hochgespannter Dämpfe praktisch brauchbar zu machen gewußt hat.

Die auf Seite 530 erwähnte Bemerkung, daß Papin seinen Erfindungsgedanken in einer eignen Schrift beschrieben habe, bedarf einer gewissen Richtigstellung. Die fragliche Beschreibung erfolgte nämlich in der Leipziger Monatsschrift Akten der Gebildeten („Acta Eruditorum“), und sie hatte auch insofern eine praktische Folge, als der Verfasser Denis Papin mit der Ausführung einer wirklichen Dampfmaschine betraut wurde, welche zur Hebung der Wasser für die Wasserkünste des Parkes in Wilhelmshöhe bei Kassel dienen

sollte. Allerdings ist diese Maschine damals nicht gänzlich vollendet worden; ihr Cylinder aber, der in Veckerhagen (an der Weser) um 1700 gegossen wurde, ist jetzt eines der sehenswertesten Schaustücke des Museums in Kassel: er ist der erste und älteste Dampfcylinder der Welt.

Im übrigen ist zu bemerken, daß Papin den Cylinder mit Kolben zunächst für die in seiner Zeit vielfach und auch von ihm selbst unternommenen Versuche, eine sogenannte Pulvermaschine herzustellen, angewendet hat. Diese Maschine beruht auf dem Gedanken, mittels entzündeter Schießpulvergase einen luftleeren Raum zu schaffen, um dann auf solche Luftleere den äußeren Luftdruck wirken zu lassen. Seit den Entdeckungen von Torricelli und Otto von Guericke suchte damals die ganze gelehrte Welt nach einem Mittel, um den Luftdruck nutzbar zu machen. Papin kam nun, da die Pulvergase den Raum nicht vollkommen luftleer machten, sondern noch $^1/_5$ der vorhandenen Luft übrig ließen, im Jahre 1690 auf den Gedanken, statt des Pulvergases den Wasserdampf anzuwenden und durch dessen Kondensation (vgl. Seite 530 Mitte) mittels Abkühlung (durch kaltes Wasser) einen völlig luftleeren Raum zu gewinnen. Auf diesen ließ er dann den Luftdruck einwirken, um die Bewegung des Kolbens innerhalb des Cylinders herbeizuführen.

Zu den auf Seite 533 gegebenen Andeutungen über eine der wichtigsten Vorrichtungen der Wattschen Dampfmaschine, nämlich über die selbstthätige Steuerung, ist an dieser Stelle nachzutragen, daß dieselbe zuerst von Beighton in eine vorzügliche konstruktive Form gebracht worden ist. Desgleichen mag der Genauigkeit halber zu den Erklärungen über das auf Seite 535 erwähnte Schwungrad, welches die Aufgabe hat, den Gang der Dampfmaschine gleichförmig zu machen, noch bemerkt werden, daß an jener Stelle nicht etwa die Einführung, sondern nur die Anwendung des Schwungrades verstanden werden muß, welches bereits vor Watt von andern Mechanikern in Anwendung gebracht war. Die erste Verwendung desselben bei den Dampfmaschinen geschah durch den Seifenfabrikanten Washborough an einer ohne Schwungrad hergestellt gewesenen Dampfmaschine, welche in seinen Werkstätten zum Treiben von Apparaten diente. Man hat später sehr irrigerweise Washborough beschuldigt, die Idee der Anwendung des Schwungrades dem Mechaniker Watt entwendet zu haben.

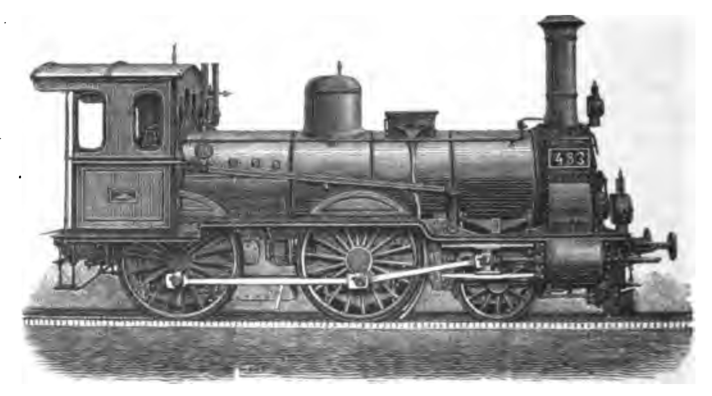


Fig. 614. Lokomotive für Personenzüge aus der Sächsischen Maschinenfabrik (vorm. Rich. Hartmann) in Chemnitz.

Ende des zweiten Bandes.





Stanford University Libraries
3 6105 010 766 454
DATE DUE
TIMOSHENKO COLLECTION
IN HOUSE USE ONLY
STANFORD UNIVERSITY LIBRARIES
STANFORD, CALIFORNIA 94305-6004

